



# L'habitat durable en Arabie Saoudite : dimension climatique et socio-culturelle : cas d'étude : la ville de Djeddah

Ahmed Khan

## ► To cite this version:

Ahmed Khan. L'habitat durable en Arabie Saoudite : dimension climatique et socio-culturelle : cas d'étude : la ville de Djeddah. Architecture, aménagement de l'espace. Université de Bordeaux, 2015. Français. NNT : 2015BORD0014 . tel-01233135

**HAL Id: tel-01233135**

**<https://theses.hal.science/tel-01233135>**

Submitted on 24 Nov 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**THESE de DOCTORAT**

Présentée à

**université  
de BORDEAUX**

**L'université de Bordeaux**

Ecole doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur

Par

**Ahmed A. KHAN**

Pour obtenir le grade de

**Docteur en Mécanique**

SPÉCIALITÉ : Sciences et techniques architecturales

---

**L'HABITAT DURABLE EN ARABIE SAOUDITE :  
Dimension climatique et socio-culturelle.  
Cas d'étude : La ville de Djeddah**

---

Thèse dirigée par :

**Mme. Catherine SEMIDOR, Docteur d'Etat Sciences Physiques**

Membres du jury de thèse :

**M. Jean-Rodolphe PUIGGALI Professeur, Université Bordeaux1 Président du jury**

**Mme. Marjorie MUSY Chercheur HDR, Laboratoire CERMA, ENSA de Nantes Rapporteur**

**M. Christian INARD Professeur, Laboratoire INSIS, Université de La-Rochelle Rapporteur**

**Mme. Grace YEPEZ-SALMON Docteur, Laboratoire GRECAU, ENSAP Bordeaux Examineur**

**M. Muhannad HAJ HUSSEIN Docteur, Annajah National University, Naples Examineur**





## DEDICATION

*I dedicate my thesis work to my family. A special feeling of love to my Father and Mother .*

*I dedicate this work and give special thanks to my Wife Hind and my wonderful son Tamim for being there for me throughout the entire doctorate program. words of encouragement and push in my ears. My brothers Rami And Sahal, also my Sister Sarah.*

*I also dedicate this dissertation to my many friends who have supported me throughout the process. I will always appreciate all they have done.*



## Résumé

Ce travail de doctorat a été effectué sous l'encadrement du Professeur Catherine SEMIDOR du laboratoire GRECAU (Groupe de Recherche Environnement Conception Architecturale et Urbaine). Il propose une approche scientifique visant à évaluer les performances réelles des habitats Saoudiens traditionnels et contemporains ainsi que la façon dont ces logements sont perçus par les habitants.

L'architecture vernaculaire en Arabie Saoudite a longtemps été considérée comme performante et confortable. Pour la recherche d'une architecture respectueuse du climat dans ce pays il est alors essentiel de se pencher sur les constructions du passé, les comparer avec celles du présent afin de comprendre les forces et faiblesses de chacune des architectures. La présente thèse traitera donc le sujet de deux dimensions fondamentales de l'architecture en Arabie Saoudite, celle qui relève du climat et celle qui relève de la culture, au travers d'un élément majeur, la satisfaction de l'habitant. Ces deux critères seront complétés d'une étude approfondie sur l'évaluation de l'espace intérieur de l'habitat ainsi que d'une analyse de l'impact du tissu urbain sur le confort dans l'habitat.

Une première partie théorique va permettre de définir les principes inhérents à ce travail de recherche et ainsi définir les enjeux de celui-ci. Les notions de confort dans l'habitat et de durabilité seront ainsi développées en expliquant comment le corps humain réagit aux différents facteurs d'ambiances et comment ces mêmes facteurs sont régulés dans les espaces bâtis. Puis nous allons voir comment les villes arabes, et notamment d'Arabie Saoudite se sont transformées dans le temps en même temps que la manière de vivre des saoudiens. Toutes ces théories seront interprétées et mise en situation dans la seconde partie de la thèse avec une étude de cas précis.

Une deuxième partie très concrète consistera à définir le cas d'étude, celui-ci sera effectué sur la ville de Djeddah et ses différents types d'habitats majoritaires. Les appartements, les maisons mitoyennes et les maisons isolées seront les trois types d'habitations analysés. Plusieurs sujets seront traités en parallèle pour bien comparer architecture traditionnelle et contemporaine, avec d'une part le niveau d'éclairage naturel et d'une autre les éléments d'ouverture des façades, avec notamment « *Le Rowshan* » pour le cas de l'architecture traditionnelle. Cette partie de l'étude sera effectuée via trois méthodes d'analyse différentes, l'enquête, l'analyse in situ et la simulation sur outils numériques.

- Une enquête spécifique sur la satisfaction du confort physique et socio-culturel des habitants de Djeddah diffusé via les réseaux sociaux.
- Une analyse in situ grâce à des mesures effectuées dans les contextes d'architecture vernaculaire et contemporaine avec des enregistreurs spécifiques mesurant la température, l'humidité et la lumière dans les espaces.
- Une mise en relation avec des études quantitatives via des simulations numériques sur les principaux facteurs physiques du confort précisés dans la première partie : le rayonnement solaire et l'éclairage naturel à l'intérieur de l'espace bâti.

Une conclusion permettra de comprendre comment nous pouvons prendre des leçons du passé quant à la conception d'architectures bio-climatiques en Arabie Saoudite. Nous détaillerons également l'impact de la dimension socio-culturelle sur l'habitat saoudien contemporain.

**Mot-clés :** habitat durable, architecture bioclimatique, architecture traditionnelle, performance du bâtiment, confort d'habitant, dimension socio-culturelle, dimension climatique, rowshan.

## Abstract

Vernacular architecture in Saudi Arabia has long been regarded as efficient and comfortable. As to search for sustainable architecture in this country then, it is essential to consider the past constructions in order to understand how it works and learn from it.

This PhD work was carried out under the supervision of GRECAU laboratory (Research Group in Environment Architecture and Urban Design) and offers a scientific approach to assess the actual performance of traditional and contemporary habitats and how the locals perceive those.

A first theoretical part will help to define the inherent principles in this research and thereof to define issues. Notions of comfort and sustainability in homes will be developed and explain how the human body reacts to different environments factors and how these factors are regulated in built-up areas. Then we'll see how the Arab cities, especially those from Saudi Arabia, have turned in time, as well as the way of life Saudis have.

A second part will define a more concrete study case: the city of Jeddah and its major different types of habitats: apartments, attached houses and detached houses. A qualitative study through a survey on the physical and socio-cultural comfort of the inhabitants of this city distributed via social networks, widely used in Saudi Arabia, will be conducted, analysed and put in relation with quantitative studies, via simulations computer about the main physical factors of comfort noticed in the first part: solar radiation and day lighting within the built environment.

These simulations will evaluate the rate of solar radiation arriving in the different types of urban patterns of Jeddah city, as well as the comfort of the interior spaces with the radiation transmitted through the opening facades elements, both traditional and contemporary ones, but also the level of natural lighting to suit them. We will see that physical comfort and socio-cultural comfort are related: when physical comfort increases, the socio-cultural comfort decreases, because the Saudis are willing to sacrifice physical comfort to satisfy their need for privacy.

Three study cases will be analysed through in-situ measurements during 67 days with specific loggers measuring temperature, humidity and light spaces, as to allow a better understanding of the relationships observed previously.

A final explanatory part will understand how we can take lessons from the past about the sustainable architecture design in Saudi Arabia via quantitative and qualitative studies conducted previously.

**Keywords :** Sustainable Habitat, Architecture Technologies, Bioclimatic Architecture, Traditional Architecture, Building Performance, Satisfaction of Habitants, Habitat Comfort, Socio-Cultural Dimension, Climatic Dimension, Rawshan.

## Remerciements

Je tiens, tout d'abord, à exprimer mes remerciements à ma directrice de thèse, Madame Catherine SEMIDOR pour avoir bien voulu m'accorder son soutien ainsi que pour avoir dirigé cette recherche avec tant d'attention et de bienveillance. Nos échanges réguliers ont été des sources de motivation indispensables dans l'orientation de mes travaux de recherche.

Je voudrais remercier Mme. Marjorie MUSY du laboratoire CERMA (Nantes), M. Christian INARD Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement, M. Muhannad HAJ HUSSEIN de l'université d'Annajah à Naples-Palestine, ainsi que Mme. Grace YEPEZ-SALMON du laboratoire GRECAU (Bordeaux) de m'avoir fait l'honneur d'avoir été mes rapporteurs, de m'avoir vivement soutenu tout au long de ce travail et de l'intérêt porté pour celui-ci.

Je tiens à remercier M. PUIGGALI Jean-Rodolphe, Professeur à l'université Bordeaux 1 de me faire l'honneur de présider mon jury de thèse.

Je remercie, également, l'université « *King Abdulaziz University* » à Djeddah pour les moyens mis à ma disposition. J'exprime ma profonde gratitude à Dr. Adnan ADASS, directeur du département d'architecture pour toutes les informations utiles qu'il m'a fournies, pour ses qualités humaines et intellectuelles.

J'apprécie énormément le soutien de mon Pays l'Arabie Saoudite, exprimée par le Bureau Culturel Saoudien à Paris. Mes profonds remerciements vont à Dr. Ibrahim ALBALAWI, l'attaché culturel pour son soutien et sa générosité.

Mes remerciements les plus sincères et ma gratitude vont à M. Sébastien LAFRAGETTE, Mme. Salma ATASSI-FARHAT ainsi qu'à tous les membres du Bureau Culturelle du Consulat Général Français à Djeddah.

Ma reconnaissance profonde s'adresse, également, à Kevin DURIS pour son aide patiente et constante à la formulation de ma pensée, Mme. Yvette DUROUX pour ses aides dans la rédaction de la thèse ayant permis l'aboutissement de ce travail ainsi que Armand FAURE et Lamya ZOUBIAI pour leur aide dans le cadre de la finalisation de cette thèse.

Je dois un remerciement Particulier à Dr. Abdullah JENAIDEB, Dr. Othman KHAFIJI, Dr. Hossny AZIZ ALRAHMAN, Dr. JASSAS ANAM, Bakri JABER, Modhar JAMJOOM, Mohammed BAOUM, Aurélie CONSTANTINI, Oana MOCANU, Ferran YUSTA GARCIA, Sirine TOUZANI, Ludovic LACHAVANNE et Emmanuelle JUTAN ainsi que toute l'équipe de l'agence POLYRYTHMIC ARCHITECTURE, pour leur amitié, leur écoute, leurs conseils et leurs temps.

Je remercie de tout cœur mes proches pour la confiance et le soutien moral qu'ils m'ont apportés durant toute la durée de cette thèse, spécialement mes parents, pour leur amour et affection ainsi que mes deux frères Rami et Sahal et ma sœur Sarah.

Je remercie mon épouse Hind pour sa présence, son soutien quotidien indéfectible et surtout pour m'avoir donné un pur joyau de bonheur quotidien, mon petit enfant Tamim dont l'enthousiasme est gravement contagieux. Enfin, je suis gré à tous ceux qui, de près ou de loin, ont rendu ce travail possible.



# Table des matières

Liste des tableaux.....	17
Liste des Figures .....	18

## INTRODUCTION

i-1 Introduction: .....	30
I-1-1 But et objectifs.....	32
I-1-2 La problématique.....	33
I-1-3 Hypothèses .....	33
I-1-4 Méthodologie.....	34
I-1-5 Mise en cohérence de la thèse .....	35

## PARTIE 1

### CHAPITRE 1 : L'HABITAT ET LE CONFORT

1-1 Introduction .....	39
1-2 Définitions élémentaires .....	40
1-2-1 L'habitat .....	40
1-2-2 Le confort.....	41
1-3 Les besoins humains .....	42
1-3-1 L'habitat .....	42
1-3-2 Les besoins humains et l'environnement, la pyramide de Maslow .....	43
1-3-2-1 Besoins physiologiques.....	44
1-3-2-2 Besoin de sécurité et de protection .....	44
1-3-2-3 Besoin d'appartenance et d'amour .....	44
1-3-2-4 Besoin d'estime .....	45



1-3-2-5 Besoin d'accomplissement de soi.....	45
1-4 Variables affectant le climat ou facteurs climatiques.....	45
1-4-1 Rayonnement solaire .....	46
1-4-2 Lumière du jour.....	48
1-4-3 L'humidité de l'air .....	49
1-4-4 La température ambiante .....	50
1-4-5 Les précipitations .....	50
1-4-6 L'état du ciel.....	51
1-5 Les fonctions d'un habitat.....	51
1-5-1 Confort et environnement intérieur .....	54
1-5-1-1 La conception de l'habitat et l'impact socioculturel sur le confort.....	54
1-5-1-2 L'habitat et le confort physique .....	55
1-6 La relation homme-environnement.....	56
1-6-1 La dimension culturelle.....	57
1-6-2 La dimension temporelle .....	57
1-6-3 L'environnement humain .....	58
1-6-4 Les taux excessifs de refroidissement du corps.....	63
1-7 Climat et l'habitat.....	64
1-7-1 L'interaction entre l'orientation, la régulation solaire et la ventilation.....	65
1-7-2 Le contrôle du rayonnement sur la façade.....	66
1-7-2-1 Le rayonnement solaire incident.....	67
1-7-2-2 Le rayonnement absorbé, transmis, et réfléchi .....	68
1-7-2-3 La forme de construction et le rayonnement solaire.....	68
1-7-3 L'éclairage naturel.....	68
1-7-3-1 Le facteur de l'éclairage naturel .....	69
1-7-3-2 Les niveaux d'éclairage naturel .....	69

1-7-3-3 Un aperçu des systèmes d'éclairage naturel.....	70
1-7-3-4 Les systèmes d'éclairage naturel sans ombrage .....	71
1-7-3-5 Les systèmes d'éclairage naturel avec ombrage .....	71
1-7-4 Interaction entre les éléments des façades et de l'habitat vernaculaire avec des facteurs climatiques dans la zone de cas d'étude.....	72
1-7-4-1 La régulation de la température.....	72
1-7-4-2 Le contrôle de la lumière naturelle .....	73
1-7-4-3 Régulation du débit de l'air .....	74
1-7-4-4 Le contrôle de l'humidité.....	75
1-8 Conclusion .....	76

## **CHAPITRE 2 : L'HABITAT ET LA DURABILITÉ**

2-1 Introduction .....	80
2-2 Objectifs et moyens de développement.....	81
2-3 Des facteurs alarmants .....	83
2-4 Le développement global.....	86
2-5 La roue de la prospérité urbaine.....	87
2-6 Le concept du développement durable .....	89
2-6-1 Le développement durable et l'évolution de ses concepts .....	91
2-6-2 Les stratégies et les dimensions du développement durable: .....	92
2-6-3 Evaluation de la durabilité .....	96
2-6-4 Indicateurs d'évaluation de la durabilité .....	97
2-7 Architecture bioclimatique et durabilité.....	100
2-8 Conclusion .....	104

## CHAPITRE 3 LA FORMATION DES VILLES DANS LA REGION ARABE

3-1 Introduction .....	106
3-2 Le contexte humain .....	106
3-3 Les modes de formation de la ville arabo-islamique.....	108
3-4 Le milieu traditionnel de la ville arabe .....	111
3-5 La transformation du milieu .....	112
3-6 La dynamique du milieu ou la dynamique environnementale.....	113
3-7 Les éléments architecturaux et leur interaction avec les facteurs sociaux et climatiques dans la Médina.....	115
3-8 Stratégies de la conception traditionnelles au Niveau de l'habitat .....	118
3-8-1 La conception dans le respect de l'intimité .....	119
3-8-2 L'interaction des façades et la protection de l'intimité.....	119
3-8-3 Conception pour les besoins variables en termes d'espace et d'expansion.....	123
3-8-4 L'adaptation climatique .....	124
3-9 Les relations entre l'homme et l'habitat au Hedjaz (la zone du cas d'étude).....	127
3-10 Le Rowshan, l'élément des façades dans l'habitat traditionnel du Hedjaz.....	128
3-10-1 Etymologie .....	128
3-10-2 La fonction et les différents types du Rowshan .....	129
3-10-3 La relation entre le Moucharabieh et le Rowshan .....	129
3-10-4 Les caractéristiques architecturales esthétiques du Rowshan.....	130
3-10-5 Un bref résumé sur le Rowshan et son apparition dans le Hedjaz.....	131
3-10-6 Le Rowshan à l'époque actuelle .....	132
3-11 Le moucharabieh et le climat du désert .....	133
3-11-1 La régulation des températures suivant les saisons.....	135
3-11-1-1 En été.....	135
3-11-1-2 En automne .....	135

3-11-2 La régulation des flux.....	135
3-11-2-1 Flux de lumière .....	135
3-11-2-2 Le contrôle (ou la régulation) du flux d'air .....	136
3-11-2-3 Variation du taux d'humidité du courant d'air .....	137
3-12 Conclusion.....	137

## **CHAPITRE 4 : LA STRUCTURE URBAINE ET LE MODE DE DISTRIBUTION SPATIALE DES LOGEMENTS DANS LA VILLE SAOUDITE**

4-1 Introduction .....	140
4-2 Le mode de développement des communautés humaines en Arabie Saoudite .....	144
4-3 Les premiers travaux d'implantation des communautés humaines .....	147
4-4 L'accélération du rythme d'urbanisation .....	148
4-5 Conséquences de la rapidité de la croissance urbaine en Arabie Saoudite .....	150
4-6 L'architecture et l'urbanisation dans une perspective historique .....	151
4-7 Les traits les plus distinctifs des formes et configurations architecturales contemporaines .....	151
4-8 Effets de la législation dans la formation des milieux traditionnels.....	156
4-8-1 Les principaux usages des terres .....	157
4-8-2 Les espaces de circulation.....	158
4-8-3 La suppression du préjudice ou du dommage.....	159
4-9 L'environnement urbain dans la ville arabo-musulmane .....	159
4-9-1 Gestion de l'environnement .....	159
4-9-2 Les caractéristiques urbanistiques traditionnelles et leur impact sur la formation des constructions.....	161
4-9-3 La gestion semi-locale et la supervision étatique.....	161

## **PARTIE 2**

### **CHAPITRE 5 : ANALYSE DE CAS : LA VILLE DE DJEDDAH**

5-1 Histoire et contexte.....	169
5-2 Population et démographie .....	172
5-3 L'économie de Djeddah.....	172
5-4 Les caractéristiques naturelles de Djeddah .....	173
5-4-1 Le climat.....	173
5-4-1-1 La température .....	174
5-4-1-2 Les nuages.....	175
5-4-1-3 L'humidité .....	176
5-4-1-4 Le vent .....	176
5-5 La diversité du logement.....	177
5-6 Un retour vers l'architecture traditionnelle à Djeddah .....	178
5-6-1 Un exemple de bâtiment traditionnel à Djeddah : la maison Al-Shafie .....	183
5-6-1-1 Rez-de-chaussée :.....	183
5-6-1-2 Premier étage : .....	183
5-6-1-3 Deuxième étage : .....	184
5-6-2 Motif urbain d'un habitat traditionnel de Djeddah.....	185
5-7 La situation actuelle .....	186
5-8 Les modèles de bâtiments actuels .....	188
5-8-1 Les bâtiments d'appartements .....	188
5-8-2 Les villas détachées.....	189
5-8-3 Les villas attachées (Duplex) .....	190
5-9 Le Concept de Post Occupancy Evaluation (POE) .....	191
5-9-1 Histoire de la méthode POE, revue de littérature .....	191

5-9-2 Les facteurs principaux de la POE .....	193
5-9-2-1 La Qualité de l'Environnement Intérieur .....	193
5-9-2-2 La Vérification de la Performance .....	193
5-9-2-3 L'Étude Holistique.....	194
5-9-3 Les facteurs secondaires de POE : .....	194
5-10 Evaluation des données du sondage.....	194
5-10-1 Informations générales sur le bâtiment (Q1-Q10) .....	194
5-10-2 Qualité de l'air et ventilation (Q11-Q28) .....	195
5-10-3 Ambiances lumineuses (Q29-Q34) .....	195
5-10-4 Satisfactions quant au confort socio-culturel et climatique (Q35-Q49) .....	195
5-10-5 Information personnelles sur les sondés (Q50-Q58).....	195
5-10-6 Données générales .....	197
5-10-7 Satisfaction des habitants.....	200
5-10-8 Consommation énergétique .....	200
5-10-9 Différences de satisfaction selon l'orientation du logement .....	201
5-10-10 Satisfaction sociale des habitants.....	202
5-11 Analyses et comparaisons de données quantitatives sur le confort intérieur .....	204
5-11-1 Conditions extérieures pendant les périodes d'étude .....	204
5-11-2 Sites d'étude .....	205
5-11-2-1 Un appartement A (Figure 5-34) .....	205
5-11-2-2 Une maison attachée B (Figure 5-36).....	206
5-11-2-3 Un appartement duplex C (Figure 5-38).....	207
5-11-3 Mesures et interprétations.....	208
5-11-4 La luminosité.....	208
5-11-5 Températures et humidité relative.....	211
5-11-6 Satisfactions sociales .....	216

5-12 Analyses de mesures <i>in situ</i> dans un habitat traditionnel .....	220
5-13 Conclusion .....	224

## **CHAPITRE 6 : ÉTUDE VIRTUELLE DE LA PERFORMANCE DES FAÇADES DANS LA VIEILLE VILLE DE DJEDDAH**

6-1 Introduction .....	227
6-2 Utilisation de méthodes de calcul pour évaluer l'impact du soleil et du climat sur les bâtiments.....	227
6-3 Logiciels de simulation dans notre recherche .....	232
6-3-1 AUTODESK BIM (Building Information Modeling) .....	232
6-3-1-1 Bases de données digitales.....	232
6-3-1-2 AUTODESK REVIT .....	233
6-3-1-3 AUTODESK Ecotect .....	234
6-3-1-4 AUTODESK Vasari.....	234
6-4 Méthodologie d'évaluation.....	235
6-4-1 Le pré-modèle.....	235
6-4-2 Le modèle.....	236
6-4-3 Simuler et visualiser .....	236
6-4-4 Analyses des données.....	237
6-5 Simulations solaires sur le tissu urbain .....	237
6-5-1 Énergie solaire reçue dans la vieille ville .....	239
6-5-2 Énergie solaire reçue dans la ville nouvelle .....	242
6-5-3 Interprétation des simulations .....	244
6-5-4 Synthèse de l'évaluation.....	247
6-6 Evaluation de l'espace intérieur.....	248
6-6-1 Interprétation des données .....	249

6-6-2 Espace expérimental.....	249
6-6-3 Fenêtres .....	251
6-6-4 Murs, sols et plafond .....	253
6-6-5 Système d'ombrage (rowshan).....	253
6-6-6 Simulations du facteur lumière du jour .....	254
6-6-7 Résultats des simulations .....	257
6-7 Evaluation rayonnement solaire entrant .....	258
6-8 Conclusion .....	261
 <b>CHAPITRE 7 : DISCUSSION ET CONCLUSIONS GENERALES .....</b>	<b>264</b>
7-1 Discussion .....	267
7-2 Conclusion.....	278
 <b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>284</b>
 <b>ANNEXES.. .....</b>	<b>301</b>
Annexe 1.....	302
Annexe 2.....	303
Annexe 3.....	307
Annexe 4.....	323
Annexe 5.....	336
Annexe 6.....	338





## **Liste des tableaux**

Tableau 1-1 : Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence ; [*REPRESENTE PAR L'AUTEUR D'APRES MAZRIA, 2005*].

Tableau 1-2 : l'échelle de sensation de froid, chaleur et inconfort par [*EMERY, 2005*].

Tableau 4-1 : Comparaison des principes organisationnels des milieux urbanistiques traditionnels et contemporain.

Tableau 5-1 : Données climatiques de la ville de Djeddah ; Source: [*NOAA 1961-1990*].

Tableau 5-2 : informations des modèles de logement, et le ratio de la surface par étage.

Tableau 5-3 : Valeurs moyennes de consommation selon le type de logement et la surface.

Tableau 5-4 : les niveaux des confort lumineux dans l'espace intérieur ; [*DUBOIS, 2001*] .

Tableau 5-5 : Matériaux composant les murs, leurs conductivité thermique et leur épaisseur pour les logements A et C.

Tableau 5-6 : Matériaux composant les murs, leurs conductivité thermique et leur épaisseur pour le logement B.

Tableau 5-7 : Taux d'ombrage (en %) des façades des maisons A et B selon l'heure, date choisie : 18 Juin, sur Autodesk Ecotect puis Microsoft Excel ; par l'auteur.

Tableau 6-1 : Comparaison des différentes zones étudiées ; par l'auteur.

Tableau 6-2 : Données des vitrages et ouvertures dans l'espace virtuelle ; source : [*GOVERNMENT OF BUILDING REGULATIONS 2011*].

Tableau 6-3 : Données des parois de l'espace virtuelle.

Tableau 6-4 : FLJ moyen dans le local virtuel étudié selon les 5 scénarios.

## **Liste des Figures**

Figure I-1 ; Émissions de CO2 (tonnes métriques par habitant) [*BANQUEMONDIALE.ORG 2013*].

Figure I-2 : méthode de récolte et analyse des données.

Figure 1-1 : Schéma représentatif des besoins humains et les motivations poursuivies selon la hiérarchie de Maslow, par l'auteur d'après [*WIKIPEDIA 2013*].

Figure 1-2 Bilan énergétique, le schéma de la Terre [*HTTP://SCIENCE-EDU.LARC.NASA.GOV*].

Figure 1-3 : Mouvement de la terre dans les zones équatoriennes et les zones tempérées ; par l'auteur.

Figure 1-4 : Sources de lumière du jour à l'espace intérieur ; par l'auteur et [*docs.agi32.com*].

Figure 1-5 : les effets de l'humidité de l'air; à gauche une humidité relative et température élevée (HR>90%) qui rend l'évaporation de la transpiration très difficile et donc le refroidissement ; à droite une humidité relative faible qui permet à la sueur de s'évaporer et refroidir le corps ; par l'auteur, d'après [*MANIBHAI, 2013*].

Figure 1-6 : les besoins humains dans leur foyer; représenté par l'auteur d'après [*ALLEN, 2005*].

Figure 1-7 : Evolution de l'enveloppe du bâtiment. Droite : Un dôme en forme de hutte en Ethiopie combine le mur et le toit dans des matériaux particuliers : des végétaux (feuilles, branches...)[*www.sslmit.units.it*] ; gauche : logements emballés de boue, Shibām au Yémen [*WWW.WEBODYSSEUM.COM*].

Figure 1-8 : Diagramme psychrométrique ; [*F. CABEZA - MAI 2002*].

Figure 1-9 : nous notons que la différence de rayonnement d'émissions de l'organisme dépend de l'activité ; d'après [*ALLEN, 2005*].

Figure 1-10: les réactions physiologiques de la température du corps ; d'après [*EMERY, 2005*].

Figure 1-11 : l'angle d'incidence est l'angle entre les trois dimensions de la surface normale et la position actuelle du Soleil; par l'auteur.

Figure 1-12 : l'effet du rayonnement solaire sur les espaces intérieurs; le rayonnement solaire arrive sur les surfaces du bâtiment et sa chaleur est transférée à l'intérieur par

conduction et augmente la température intérieure jusqu'à des valeurs plus élevées qu'à l'extérieur ; par l'auteur, d'après [GONZALEZ, 2009].

Figure 1-13 : le spectre visible et le spectre électromagnétique; source: [[HTTP://WWW.IMMUNOLIGHT.COM/](http://www.immunolight.com/)].

Figure 1-14 : Systèmes d'éclairage naturel dans l'espace intérieur ; par l'auteur d'après [ANDER, 2003].

Figure 1-15 : rédaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaire [LIEBARD ET DE HERDE 2004].

Figure 1-16 : à gauche une photo d'un badgir à Dubai ; à droite une coupe explicative du fonctionnement de ces tours à vent. L'air arrivant de la tour à l'intérieur de l'habitation en passe parfois par un réservoir d'eau venant refroidir l'air par évaporation ; par l'auteur.

Figure 1-17 : coupe dans le mur et moucharabieh, un pot d'eau en argile poreux utilisé pour refroidir l'air qui passe à travers le moucharabieh et dans l'espace intérieur.

Figure 1-18 : représentative de la relation de l'habitat avec l'espace externe et de l'interaction qui s'opère à travers l'enveloppe du logement ; par l'auteur.

Figure 2-1 : Émissions de GES en 2000 ; [STERN SUMMARY REVIEW 2006].

Figure 2-2 : les trois piliers principaux du développement durable

Figure 2-3 : La roue de la prospérité urbaine; par l'auteur d'après [UN HABITAT 2012, PROSPERITY OF CITIES].

Figure 2-4 : les piliers d'une stratégie de développement durable ; [CHARLOT ET OUTREQUIN, 2009].

Figure 2-5 : représentative de la relation des deux dimensions de développement et de durabilité avec le confort dans l'espace architectural ; par l'auteur.

Figure 2-6 : l'environnement bâti et ses quatre caractéristiques ; par l'auteur d'après [BARTUSKA, 2007].

Figure 2-7 : illustre la formation des espaces dans les constructions traditionnelles, que ce soit dans une cour interne ou une zone de déplacement horizontale, par l'auteur.

Figure 3-1 : les facteurs humains qui influent sur l'architecture ; par l'auteur d'après [RAGETTE, 2006].

Figure 3-2 : gauche : la ville de Dubai ; droite : La ville de Riyad ;  
[HTTP://WWW.BUSINESSINSIDER.COM].

Figure 3-3 : perception de l'ancienne ville de Bagdad ; par l'auteur.

Figure 3-4 : plan de Tlemcen au début de l'époque française, on observe les murs de la ville  
[ANCIENNE; WWW.MEDINANET.ORG].

Figure 3-5 : gauche : vue aérienne de l'ancienne ville de Tunis ; droite : l'ancienne ville de Djeddah ; [AKBAR, 1992] , [WAGNER, 2008].

Figure3-6 : Une artère principale dans un quartier ancien à laquelle viennent s'articuler des petites places ainsi que des ruelles semi-privées qui desservent les habitations; par l'auteur.

Figure 3-7 : un des types de rowshan dans la vieille ville de Djeddah ; par l'auteur.

FIGURE 3-8 : LES NIVEAUX D'INTIMITE ENTRE LES RUES ET LA MAISON ; par l'auteur.

Figure 3-9 : l'échelle humaine et la hauteur d'une porte dans la vieille ville de Djeddah ; par l'auteur.

Figure 3-10 : la grande maison d'Al-Bougari à Taïf, (la maison de mon grand-père) ; par l'auteur.

Figure 3-11 : le moucharabieh et la question de l'intimité ; par l'auteur.

Figure 3-12 : vue intérieure de la salle de séjour dans une maison traditionnelle à Djeddah ; par ; [ALHAJJ PHOTOGRAPHE 2012].

Figure 3-13 : les composants des façades dans la ville traditionnelle arabe ; par l'auteur.

Figure 3-14 : la projection des rowshans aide diminuer la rayonnement solaire sur les façades également à augmenter l'espace intérieur ; [KABLI PHOTOGRAPH 2012].

Figure 3-15 : le rowshan à la vieille ville de Djeddah ; par l'auteur.

Figure 3-16 : Les différences entre moucharabieh (classique) à gauche et le rowhsan (à droite). En bas : les éléments principaux des rowshans ; par l'auteur.

Figure 3-17 : le Rowshan métallique sur une façade contemporaine ; [WWW.AL-RAMADA.COM]

Figure 4-1 : gauche : espace public et privé dans une ville Arabo-islamique traditionnelle ; [RAGETTE, 2006] ; retracé par l'auteur.

Figure 4-2 : droite : cour dans une maison à Bagdad, avec loggia ou Ivan, des balcons au premier étage et Badgir sur le toit ; par l'auteur d'après [OLIVER, 2007].

Figure 4-3 : photo aérienne de la ville de Hofuf en Arabie Saoudite montrant des bâtiments et des quartiers contemporains fluage vers les fermes. C'est une transformation progressive en quartiers résidentiels ; [AKBAR, 1992].

Figure 4-4 : projet « *Dubai l'ancienne région* », un des projets contemporains dans les pays du Golfe. Les éléments de décoration de l'architecture traditionnelle ont été copiés sur un nouveau projet ; [CHAUDHARY PHOTOGRAPHE, 2013].

Figure 4-5 : la population d'Arabie Saoudite ; [[HTTP://WWW.TRADINGECONOMICS.COM](http://www.tradingeconomics.com)].

Figure 4-6 : la population devrait augmenter à l'avenir. Elle est susceptible d'atteindre 36,73 millions en 2030 et devrait atteindre 44,76 millions en 2060. Le taux de croissance, cependant, devrait diminuer ; [[WWW.WORLDPOPULATIONSTATISTICS.COM](http://www.worldpopulationstatistics.com)].

Figure 4-7 : Carte topographique d'Arabie Saoudite ; [[HTTP://WWW.WORLDOFMAPS.NET/](http://www.worldofmaps.net/), 2014].

Figure 4-8 : formes architecturales de nombreuses villes et villages traditionnels en Arabie Saoudite ; par l'auteur d'après [KING, 1998].

Figure 4-9 : les anciens chemins commerciaux à la péninsule arabe ; par l'auteur d'après [FALCON, 1974] .

Figure 4-10 : densité de population en Arabie Saoudite ; [GIORGIO, 2010].

Figure 4-11 : terrains résidentiels au nord de la ville de Djeddah, nous constatons que les terrains sont libres ; [GOOGLE MAP, 2013].

Figure 4-12 : vue aérienne des nouveaux quartiers de la ville de Djeddah, Source :[JEDDAH STRATIGIC PLAN 2008].

Figure 4-13 : le plan de la ville de Djeddah : la vieille ville, Source : Concervation of Djeddah Old Town ; [ROBERT MATHEW, 1968].

Figure 4-14 : dessin à la main de la ville historique de Djeddah dans les années soixante démontre des immeubles de grande hauteur modernes, qui étaient considérés comme des monuments de l'évolution de la ville ; [ROBERT MATHEW, 1968].

Figure 4-15 : modèle pour la villa en Arabie Saoudite des années soixante, c'était une évolution des bâtiments ; [BEN SALEH, 2002].

Figure 4-16 : la ville de Taïf - Arabie Saoudite en 1958. Le début de l'expansion de la ville et des quartiers résidentiels à l'extérieur des murs de la ville ; [OKAZ, 2003].

Figure 4-17 : un quartier résidentiel détaillé dans la vieille ville d'Al-Hasa - Arabie Saoudite montre la hiérarchie des rues et des espaces ; [BEN SALEH, 2002].

Figure 4-18 : deux environnements urbains différents en Arabie saoudite, la première photo dans l'ancienne ville de Djeddah, la deuxième photo (droite) dans la ville d'Abha ; [Shalabi, 2008] ; [BEN SALEH, 2002].

Figure 5-1 : Expansion historique de Djeddah ; [DJEDDAH STRATEGIC PLAN 2007].

Figure 5-2 : Situation actuelle à la médina en 2013 ; par l'auteur.

Figure 5-3 : croissance de la population à Djeddah ; [WORLD BANK STATISTICS 2004].

Figure 5-4 : moyenne mensuelle diurne, AUTODESK ECOTECH (2013) ; par l'auteur.

Figure 5-5 : projection sphérique de Djeddah ; par l'auteur.

Figure 5-6 : schéma de l'humidité relative de Djeddah, bandes intérieures de 25% à 75%, bandes extérieures de 10% à 90% ; par l'auteur.

Figure 5-7 : la direction et la vitesse du vent à Djeddah ; par l'auteur.

Figure 5-8 : répartition des modèles de logements occupés par des familles à Djeddah ; [OBSERVATOIRE URBAIN DJEDDAH2007].

Figure 5-9 ; actuelle occupation pour les familles saoudiennes de Djeddah ; [OBSERVATOIRE URBAIN DJEDDAH2007].

Figure 5-10 : Types de pierre utilisés dans les bâtiments à la vieille ville de Djeddah ; [AIDAROUS 2011].

Figure 5-11 : découpe d'anciens bâtiments traditionnels de Djeddah qui démontrent les différents éléments de construction ; Source [ECOLE D'AVIGNON, 2006].

Figure 5-12 : présentation de la fenêtre, de sa section et de l'épaisseur de la paroi ; par l'auteur, d'Après [ABU-GHAZZEH 1994].

Figure 5-13 : les composants du Rowshan ; par le Laboratoire S.G.U – KAU Djeddah.

Figure 5-14 : démontre l'harmonie architecturale entre les différents éléments d'une façade dans le vieux Djeddah ; par l'auteur.

Figure 5-15 : le rowshan et son efficacité au niveau de l'intimité visuelle; par l'auteur

Figure 5-16 : la façade principale et les coupes de la maison Al-Shafie dans la vieille Djeddah ; par l'auteur et [LABORATOIRE S.G.U 2005-2013].

Figure 5-17 : la perspective intérieure de la maison Al-Shafie ; à gauche : la chambre d'invités ; à droite : le living room ; [LABORATOIRE S.G.U 2005].

Figure 5-18 : les plans des différents étages de la maison Al-Shafie par l'auteur et [LABORATOIRE S.G.U 2005-2013].

Figure 5-19 : en haut: des rues (25m de large) au beau milieu d'un quartier résidentiel ; par l'auteur. En bas : un plan urbain actuel et les quartiers résidentiels de Djeddah ; source : Google Maps.

Figure 5-20 : emprise d'un bâtiment d'appartements par rapport à sa parcelle.

Figure 5-21 : emprise d'une villa détachée par rapport à sa parcelle.

Figure 5-22 : emprise des villas attachées par rapport à leur parcelle.

Figure 5-23 : Facebook : un média largement utilisé en Arabie Saoudite.

Figure 5-24 : Répartition des types de logements ; par l'auteur.

Figure 5-25 : Répartition de l'âge des logements (global) ; par l'auteur.

Figure 5-26 : Le mode d'accession au logement en fonction du type, De gauche à droite : Appartement, maisons détachées, maisons mitoyennes.

Figure 5-27 : Taille des logements (global) ; par l'auteur.

Figure 5-28 : Nombre de façades principales par logement selon le sondage; par l'auteur.

Figure 5-29 : La répartition des satisfactions de confort pour les 3 types d'habitat.

Figure 5-30 : Le confort physique vu par les habitants en fonction de l'orientation.

Figure 5-31 : La distribution des taux de satisfaction en fonction de chaque paramètre pour une pièce orientée Ouest.



Figure 5-32 : Rapport entre satisfaction physique et satisfaction sociale ; Pour le calcul de la

moyenne des satisfactions :  $\bar{X} = \frac{\sum \bar{x}_i}{\sum \omega_i}$ .

Figure 5-33 : L'enregistreurs HOBO U12-12.

Figure 5-34 : Situation du logement A ; par l'auteur.

Figure 5-35 : Emplacement de l'appareil de mesure ; par l'auteur.

Figure 5-36 : Situation du logement B ; par [TOUZANI, 2013].

Figure 5-37 : Emplacement de l'appareil de mesure ; par l'auteur.

Figure 5-38 : Situation du logement B ; par l'auteur.

Figure 5-39 : Emplacement de l'appareil de mesure ; par l'auteur.

Figure 5-40 : Variation des niveaux d'éclairement (*lux*) en fonction du temps sur une semaine, logements A et B.

Figure 5-41 : De gauche à droite : le séjour A, le séjour B et le séjour C.

Figure 5-42 : Taux de satisfaction quant à l'éclairage naturel des logements et comparaison avec la moyenne de tous les sondés

Figure 5-43 : Diagramme psychrométrique avec les données du logement A intégrées ; par l'auteur.

Figure 5-44 : Diagramme psychrométrique avec les données du logement B intégrées ; par l'auteur.

Figure 5-45 : Diagramme psychrométrique avec les données du logement C intégrées ; par l'auteur.

Figure 5-46 : Facteur d'utilisation du système de climatisation noté de 1 (pas utilisé) à 7 (tout le temps utilisé) des 3 logements étudiés et de la moyenne de tous les sondés.

Figure 5-47 : Installations de l'habitant du logement B pour préserver son intimité et comparaison du taux de satisfaction quant à ce paramètre par rapport aux autres habitants.

Figure 5-48 : Sensation de confort thermique une fois la climatisation stoppée, comparaison avec la moyenne de tous les sondés ; par l'auteur.

Figure 5-49 : Installations de l'habitant du logement B pour préserver son intimité visuelle par rapport à son voisin, ce dispositif fait office d' écran.

Figure 5-50 : Comparaison de la satisfaction quant à la sensation d'intimité visuelle pour chaque logement.

Figure 5-51 : Taux de satisfaction des habitants par rapport à la sécurité du quartier.

Figure 5-52 : Rappel de la courbe des satisfactions de la partie précédente.

Figure 5-53 : Ombrages des façades des logements A et B (réalisé avec Autodesk Ecotect) ; par l'auteur.

Figure 5-54 : La création d'un système d'écran pour préserver l'intimité visuelle pour le logement C.

Figure 5-55 : La localisation générale du bâtiment examiné.

Figure 5-56 : le bâtiment sélectionné et les deux espaces intérieurs examinés

Figure 5-57 : Variation des températures entre l'extérieur et l'intérieure

Figure 5-58 : L'éclairement sur la façade extérieure

Figure 5-59 : L'éclairement à l'intérieur des pièces mesurées

Figure 6-1 : Building Research Station (BRS), Rapporteur des composants du ciel pour une élévation manuelle verticale ; [[HTTP://PERSONAL.CITYU.EDU.HK/](http://personal.cityu.edu.hk/)].

Figure 6-2 : Les sections et projections hémisphériques des facteurs de vue du ciel [*DEROISY ET DENEYER 2013*].

Figure 6-3 : La distribution d'éclairage causée par les systèmes de feux de position, lucarnes et lumière du jour combinés ; par l'auteur, d'après [*FILETOTH, 2013*].

Figure 6-4 : Gauche: Un exemple de l'analyse in situ de l'efficacité de l'appareil d'ombrage sur les fenêtres incurvées. Droite : Évaluation solaire sur immeuble de grande hauteur; sources : [*MARSH 2004*].

Figure 6-5 : Carte du rayonnement sans façade au 31 Janvier, sur la base de données LIDAR [ $\text{Wh/m}^2$ ]; [*REDWEIK, 2011*].

Figure 6-6 : Carte de la durée d'ensoleillement maximale pour la situation existante à Bruxelles ; [*DEROISY ET DENEYER, 2013*].

Figure 6-7 : Composants et procédure de Autodesk BIM; [BEXELCONSULTING.COM] 2013.

Figure 6-8 : les différentes phases de la démarche d'évaluation, par l'auteur.

Figure 6-9 : interface d'Autodesk Vasari; par l'auteur.

Figure 6-10 : Les deux zones de la vieille ville de Djeddah; par l'auteur.

Figure 6-11 : Etude solaire sur Vasari, zone 1 de la vieille ville (à gauche) et zone 2 (à droite); par l'auteur.

Figure 6-12 : Energie reçue en kWh/m<sup>2</sup> en fonction de l'orientation de la façade et de la saison pour la zone 1 de la vieille ville ; par l'auteur.

Figure 6-13 : Energie reçue en kWh/m<sup>2</sup> en fonction de l'orientation de la façade et de la saison pour la zone 2 de la vieille ville ; par l'auteur.

Figure 6-14 : Les orientations dominantes des façades et des rues; par l'auteur.

Figure 6-15 : En haut La zone (1) d'appartements de la ville nouvelle. En bas : la zone (2) de villas attachées et détachées de la ville nouvelle.

Figure 6-16 : Energie reçue en kWh/m<sup>2</sup> en fonction de l'orientation de la façade et de la saison pour la zone 1 de la ville contemporaine ; par l'auteur.

Figure 6-17 : Energie reçue en kWh/m<sup>2</sup> en fonction de l'orientation de la façade et de la saison pour la zone 2 de la ville contemporaine ; par l'auteur.

Figure 6-18 : Influence de la largeur des rues sur l'insolation des façades ; par l'auteur.

Figure 6-19 : Rayonnement solaire moyen reçu sur le sol des rues en kWh/m<sup>2</sup>/an; par l'auteur.

Figure 6-20 : Relation entre rayonnement solaire sur des façades de la zone 1 de la vieille ville et la zone 2 de la ville nouvelle ainsi que la proportion des habitants préférant cette façade selon l'orientation ; par l'auteur.

Figure 6-21 : Absorption de l'humidité par les moucharabiehs en bois; par l'auteur.

Figure 6-22 : Des systèmes de rowshan sur une façade, on observe une porosité élevée dans l'habitat traditionnel; par l'auteur.

Figure 6-23 : Dimensions de l'espace et son ouverture pour les 5 scénarios différents (ouverture munie d'un rowshan et une ouverture vitrée : simple, double + air et double vitrage + argon).

Figure 6-24 : Les dimensions intérieures de l'espace ainsi que les détails des scénarios avec rowshan et des ouvertures vitrées.

Figure 6-25 : Le rowshan dont les moucharabiehs ressortent sur l'extérieur.

Figure 6-26 : Grille de calcul de FLJ d'Ecotect.

Figure 6-27 : FLJ moyen dans le local virtuel étudié selon les 5 scénarios en fonction de la profondeur du local.

Figure 6-28 : Géométrie des faisceaux solaires projetés dans l'espace protégé par un Rowshan.

Figure 6-29 : Représentation de l'éclairement naturel dans 5 scénarios. Les échelles de valeurs sont différentes car l'amplitude des écarts entre les dispositifs est trop grande pour permettre de visualiser correctement les valeurs.

Figure 6-30 : Simulation du taux de radiations reçu pour les Cinq scénarios principaux.

Figure 6-31 : Energie solaire en kWh/an reçus dans l'espace intérieur selon l'orientation en fonction du type d'ouverture considéré.

Figure 7-1 : Principaux postes de consommation énergétique en Arabie Saoudite ; [*SEC SAUDI ARABIA 203*].

Figure 7-2 : Facteurs de confort et de performance ; par l'auteur d'après [*ALKAMA 2009*].

Figure 7-3 : Les facteurs climatiques et socio-culturels amènent au confort de l'habitant ; par l'auteur.

Figure 7-4 : Liens entre le confort climatique et le confort socio-culturel ; par l'auteur.

Figure 7-5: présente les éléments qui ont un impact sur la conception en Arabie Saoudite et qui affecte l'efficacité du projet, par l'auteur.

Figure 7-6 : les principaux éléments de la recherche ; par l'auteur.



# Introduction

---

## **i-1 Introduction:**

Pour toute famille, l'accès au logement est un besoin primordial qui contribue au développement d'une société équitable. C'est un lieu central qui tient une place prépondérante au sein d'une famille. On peut considérer la mise en place des zones d'habitats et des infrastructures qui répondent aux besoins des familles comme étant une base primordiale pour la constitution d'une société.

Malgré le développement accéléré des milieux bâtis dans les villes du Golfe Persique, en particulier dans le royaume d'Arabie Saoudite, il n'en reste pas moins que la fonction principale des logements est celle d'assurer un abri et il faut, évidemment, que celui-ci soit approprié à son utilisateur.

Ce développement urbain accéléré a été accompagné d'une expansion considérable des surfaces des villes et, comme on peut également le noter, d'un manque de conscience concernant l'environnement et une absence de lois favorisant la réduction de la consommation d'énergie. Ensuite, au niveau de la ville, le véhicule motorisé individuel est devenu le seul moyen de transport en raison des systèmes de planification occidentaux, surtout américains, qui ont été développés au cours du siècle précédent. S'agissant des maisons, et c'est d'ailleurs la question la plus importante puisqu'elle est liée à l'objet de notre recherche, nous constatons que le taux de consommation d'énergie dépasse 50% de la consommation totale, dont 60% pour la climatisation et 23% pour l'éclairage. La consommation d'énergie par habitant est l'une des plus élevées au monde et s'estime à environ 40 barils de pétrole annuel par habitant. La croissance annuelle de la consommation d'énergie au Royaume d'Arabie Saoudite est la plus élevée au monde avec 7% environ par an [*JOURNAL RIYAD N° 16681 ; ABU DAHIR, 2014*]. La consommation énergétique annuel du pays représente 90.000 megawatt avec plus de 50% de consommation dédié à l'habitat [*ARAB NEWS JOURNAL; ABDUL GHAFOUR, 8 JUILLET 2014*].

Si l'on se base sur le rapport international sur l'énergie, le taux de consommation d'énergie en 2020 excéderait six cent douze quadrillion BTU<sup>1</sup> et le continent asiatique et africain seraient les plus grands consommateurs d'énergie [WINCHIP, 2005].

Il ressort de ce qui précède que la consommation d'énergie dans les logements est très élevée, en particulier en Arabie Saoudite, que l'on considère d'ailleurs comme l'un des pays les plus consommateurs d'énergie. On devrait, ainsi, prendre en compte la notion d'économie dans la consommation d'énergie, en particulier dans les phases de conception (Figure I-1).

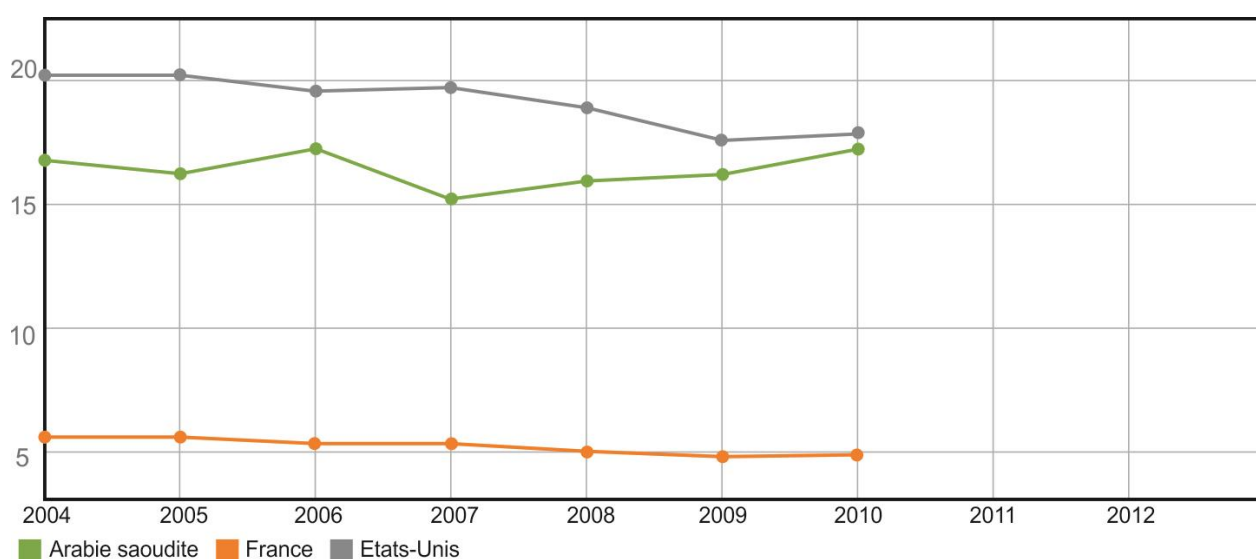


Figure I-1 ; Émissions de CO2 (tonnes métriques par habitant) [banquemondiale.org 2013].

Le diagramme de la figure I-1 illustre la croissance non négligeable du ratio des émissions de dioxyde de carbone dans le Royaume d'Arabie saoudite, qui représente plus de 3 fois les émissions de dioxyde de carbone en France et tend à atteindre celles des Etats-Unis, dont le ratio des émissions en CO2 est un des plus élevés au monde.

Lorsqu'on recherche des solutions de conception pour réduire la consommation d'énergie dans les logements, on pense souvent à l'architecture traditionnelle et tout ce qui a été écrit à ce sujet et rapporté par les chercheurs, au sujet notamment de la qualité de cette

<sup>1</sup>Un watt vaut environ 3,41214 BTU/h.



architecture et ce malgré l'absence de tout recours aux technologies modernes en particulier pour assurer le confort à l'intérieur du logement. Certains estiment que l'architecture traditionnelle est le fruit d'un pur hasard et la qualifie ainsi d'« *architecture coïncidence* » [AKBAR, 1992]. D'autres pensent qu'elle proviendrait de l'expérience humaine à partir de la connaissance de ses erreurs comme Hassan FATHY [FATHY, 1986]. En outre, Jun Hagihara affirme que les consommations de l'habitat contemporain sont plus importantes que celles de l'habitat ancien en Arabie Saoudite [HAGIHARA, 2013].

Notre étude s'intéresse à l'examen des concepts de confort à l'intérieur du logement d'un point de vue physique et social, ainsi qu'à l'étude et l'explication des termes et des divers éléments de l'architecture traditionnelle, en particulier celle du Hedjaz<sup>2</sup> dans la ville de Djeddah. Nous examinerons également les différents aspects de la notion de durabilité, en s'appuyant notamment sur ce qui a été écrit à ce sujet par les chercheurs. Nous nous intéresserons, enfin, à l'examen des différentes méthodes d'évaluation de la performance des logements, et par suite à l'évaluation des façades en tant qu'élément prépondérant à la fois dans les logements anciens et modernes, et nous découvrirons, à l'occasion, l'opinion des habitants quant à leurs habitations.

### **I-1-1 But et objectifs**

Nous allons ainsi, dans cette étude, chercher à caractériser l'interaction entre l'habitat et l'habitant. Nous ferons donc une investigation sur la satisfaction du confort dans les espaces intérieurs de l'habitat.

Dans la culture saoudienne, la façade est un élément important intégrant les principes de confort climatique et socio-culturel à travers des éléments comme le moucharabieh et ses déclinaisons, c'est pourquoi nous l'analyserons quantitativement et qualitativement. Nous devons alors identifier les valeurs qui respectent le principe de confort social et physique à l'intérieur des logements et dont on peut se servir dans la conception des logements

---

<sup>2</sup>La côte ouest d'Arabie saoudite

contemporains, Pour ce faire, nous centrerons notre travail sur l'étude des divers éléments architecturaux et urbains du milieu traditionnel arabe, que nous comparerons aux habitats contemporains. Nous nous positionnerons alors essentiellement sur l'analyse des façades qui définissent, par essence même, le lien entre l'espace intérieur et extérieur, établissant intrinsèquement une rupture entre la sphère privée et publique.

Ces grandes lignes de l'étude seront validées par une approche analytique complète faite pour le cas de la commune de Djeddah, c'est ainsi que cette thèse souhaite justifier certaines théories démontrant la nécessité de réorientation de l'architecture bâtie en Arabie Saoudite.

### **I-1-2 La problématique**

Le concept de durabilité architecturale est apparu depuis quelques années afin de mettre en garde les utilisateurs et les concepteurs sur la nécessité de changer leurs processus de conception et de sensibiliser l'ensemble de la population quant aux conséquences de l'utilisation excessive d'énergie et de matériaux non renouvelables, à l'origine notamment du phénomène de réchauffement climatique, de la désertification, de la hausse des températures ainsi que de la pollution, etc.

Malgré le développement réalisé en Arabie Saoudite dans le domaine de l'architecture et le saut qualitatif qu'a réalisé le pays, le taux de consommation énergétique est en nette progression et ce d'autant plus que les utilisateurs sont en perpétuelle recherche de moyens de confort de plus en plus sophistiqués dans les espaces « *habités* ». Ajoutons à cela, le fait que la circulation et le bruit urbain sont en constante progression et que l'accès à la climatisation devient un incontournable pour l'habitant saoudien.

### **I-1-3 Hypothèses**

Un certain nombre de valeurs et de principes directeurs peuvent développer l'architecture locale contemporaine et accroître sa performance et son efficacité d'un point de vue social et environnemental. Dans cette étude, nous nous appuierons donc sur une mise en parallèle

entre le principe de confort dans les logements contemporains actuels et une évaluation de la performance des logements traditionnels.

Nous posons, comme hypothèse d'étude, que les habitats traditionnels (qui ont subi l'effet des facteurs environnementaux, sociaux et culturels) sont des bâtiments respectueux de l'environnement. Ils sont à la fois dotés d'une grande efficacité et respectent le principe de confort social, physique ou matériel. Les dimensions climatiques et sociales sont intimement liées et nous démontrerons que le logement traditionnel le respecte tout particulièrement.

Cela étant, nous limiterons l'objet de notre étude à l'examen des éléments de l'architecture traditionnelle locale, ainsi qu'à l'analyse et à l'évaluation des éléments de la façade des logements traditionnels « *le Rowshan et les fenêtres* ». Dans cette étude nous procéderons, également, à une comparaison entre les façades des logements anciens et celles des logements modernes en termes de performance physique ou matérielles, à la fois au niveau du confort visuel et de l'éclairage naturel, ainsi que de leur relation avec l'aération ou ventilation naturelle, en occultant toutefois les autres éléments physiques tels que le confort sonores ou les ambiances sonores.

#### **I-1-4 Méthodologie**

Notre étude repose sur trois volets essentiels pour évaluer l'habitat contemporain et ses performances par rapport à l'habitat traditionnel. A travers l'ensemble de l'investigation, nous traiterons le sujet de la satisfaction de l'habitant dans son habitat et cela à travers l'interprétation de la dimension climatique ainsi que de la dimension socio culturelle.

**Premièrement** : il s'agit de procéder à une enquête portant sur l'évaluation qualitative de la performance des logements actuels. Pour cela, un questionnaire a été envoyé aux habitants de la région, portant sur l'étude des facteurs de confort physique et social dans leur logement. Nous allons nous concentrer dans cette étude sur la relation entre les façades et le confort social, en particulier les thèmes de l'Intimité visuelle et de la

sécurité en raison de leurs relations avec les façades, en plus des facteurs physiques qui exercent une influence sur le confort des habitants. Nous allons étudier ce qui suit :

- Étude du rapport entre le confort dans les espaces intérieurs et le type de logement (appartement, villa, duplex).
- Étude du rapport entre l'espace intérieur et les facteurs climatiques externes.
- Étude du rapport entre le confort dans l'espace intérieur et les facteurs sociaux en particulier ceux ayant attiré à l'intimité et à la sécurité.
- Étude du rapport entre le confort dans l'espace intérieur et la consommation d'énergie.

**Deuxièmement :** Etude in situ en vue de procéder à une évaluation quantitative de la performance des constructions existantes en terme de confort physique et de consommation d'énergie, il s'agit là de déterminer le rapport entre ce confort et le type de logement. Ceci nous aidera considérablement dans la détermination de la performance réelle de l'habitation lorsque nous confronterons les résultats ainsi obtenus avec ceux de l'enquête.

**Troisièmement :** Simulation via une évaluation quantitative en commençant par le tissu urbain de la ville ancienne de Djeddah et sa comparaison avec le tissu urbain moderne jusqu'à l'évaluation quantitative de la performance de l'élément le plus répandu dans les façades de l'architecture traditionnelle à Djeddah, à savoir le Rowshan à travers la réalisation de modèles 3D (tridimensionnels) à partir des programmes AUTODESK BIM. Cela nous permettra d'étudier l'effet du rayonnement solaire sur les façades des bâtiments et de conclure de son impact sur l'espace intérieur. Nous allons procéder à cette étude dans le premier chapitre et nous allons expliquer la stratégie d'évaluation ultérieurement.

## **I-1-5 Mise en cohérence de la thèse**

Notre positionnement en tant qu'architecte est de traiter la bonne mise en œuvre des règles élémentaires de l'architecture et les transcender au travers des deux dimensions majeures de l'habitation (climatique et socio-culturelle). C'est ainsi que nous pourrons comparer les

résultats des méthodes précédemment citées et en tirer les conclusions sur les atouts majeurs des deux types d'habitat étudiés (Figure I-2). Dans le cadre de notre étude, nous avons adopté les approches scientifiques suivantes :

**Premièrement** : l'approche descriptive, à partir de laquelle ont été étudiés les éléments de l'architecture traditionnelle dans la culture arabe en général et dans celle de la ville de Djeddah en particulier. Nous analyserons la relation entre le logement et les éléments architecturaux afin de se positionner sur l'impact qu'ils ont sur le confort social, culturel et physique à l'intérieur des espaces du logement. L'étude procède, également, à un examen du concept et de l'histoire de la notion de durabilité.

**Deuxièmement** : l'approche analytique utilisée dans l'étude des éléments de confort dans le logement ainsi que dans l'analyse du questionnaire qui a été distribué aux habitants du Royaume de l'Arabie Saoudite en général et de la ville de Djeddah en particulier. L'objectif poursuivi est d'évaluer l'efficacité du logement et de connaître l'opinion des occupants sur le confort à l'intérieur des espaces vides dans la maison. Il a été fait appel au principe de « *Post Occupancy Evaluation* » dans la rédaction de ce questionnaire.

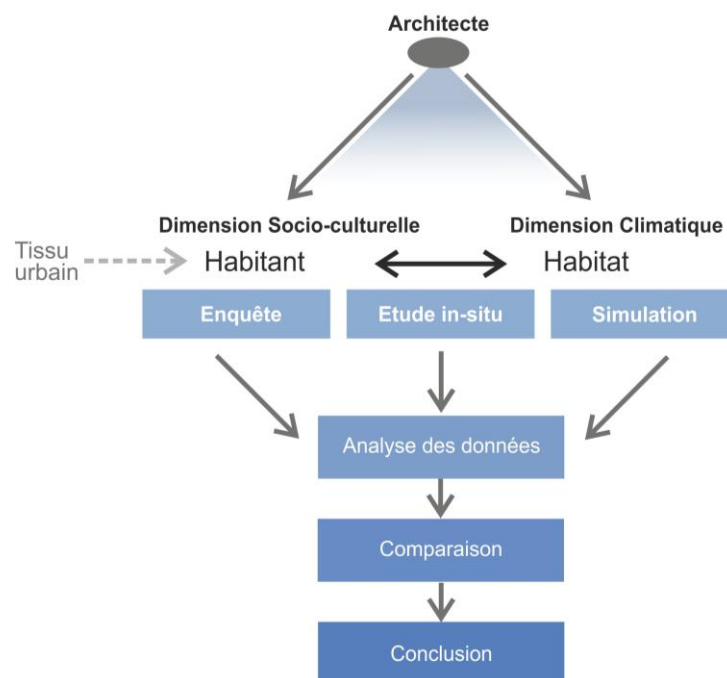


Figure I-2 : schéma qui reflète le parcours de la thèse.

L'étude de la ville de Djeddah et de sa longue histoire nous permet de nous pencher sur les éléments de l'architecture traditionnelle afin, non seulement, de les analyser, mais également de passer en revue les nouveaux éléments introduits par l'architecture moderne qui, malheureusement, n'a pas su conserver tout en les faisant évoluer les éléments architecturaux traditionnels qui ont, ainsi, fini par disparaître.

## **PARTIE 1**

# **Chapitre 1**

---

### **L'HABITAT ET LE CONFORT**

“Architecture is a border between man and his environment”

*GIVONI Baruch 1976*

## 1-1 Introduction

Le concept d'habitat est au carrefour de plusieurs disciplines telles que la sociologie, l'anthropologie, la géographie, la philosophie, la psychologie et l'architecture. Chaque discipline met en avant une approche différente de la question, en traitant le phénomène de l'habitat sous un angle singulier et en s'attardant sur des aspects aussi importants les uns que les autres. Ce sont autant d'approches qui permettent de comprendre la notion d'habitat mais qui rendent complexe la possibilité de parvenir à une définition générale et globale du concept. Rybczynski [RYBCZYNSKI, 1987] dans son livre intitulé «*Home*», décrit le confort dans la maison comme ceci : « *comprendre l'habitat c'est comme tenter de faire la description d'un oignon. De l'extérieur, cela peut paraître simple mais c'est trompeur car il existe plusieurs couches. Quant on le découpe, il reste juste des peaux d'oignon et la forme originale disparaît. Si chaque couche est décrite séparément, nous perdons de vue l'ensemble. Les couches sont transparentes de sorte à ce que lorsqu'on regarde l'ensemble de l'oignon, nous apercevons non seulement la surface mais également des choses de l'intérieur* ».

Un habitat dont la conception est réussie doit pouvoir répondre aux besoins et aux aspirations de son utilisateur final qui, dans de nombreuses situations, sera le propriétaire de la maison. La formation de l'architecte doit lui permettre de pouvoir produire un travail dont l'ultime finalité est la satisfaction des désirs du propriétaire de la future maison [OLATUNDE, 2012].

Ce chapitre vise simultanément à définir et à décrire la relation entre le confort et l'habitat dans ses aspects à la fois socio-culturels et climatiques, ces derniers étant à l'origine des différentes définitions de la notion de confort dans l'habitat. Il sera également question dans ce chapitre d'examiner comment ces différentes contraintes ont réorienté les débats à propos de la notion de confort dans les espaces intérieurs des logements.

Les notions de base de l'habitat seront clairement définies lors de l'étude de cas faite pour la ville de Djeddah dans la seconde partie de la thèse.



## 1-2 Définitions élémentaires

### 1-2-1 L'habitat

L'habitat signifie communément l'espace qui abrite l'individu et qui comprend tous les éléments, commodités, installations et outils essentiels nécessaires non seulement à la survie de l'individu mais également à l'entretien de sa santé physique et psychique ainsi qu'à la réalisation du bonheur social de l'individu lui-même et de sa propre famille. Lieu protecteur de tous les membres de la famille, le logement est également l'endroit où l'on reçoit les proches et les amis.

C'est aussi un espace qui présente une valeur sentimentale puisque c'est au sein du foyer familial que l'on voit naître et évoluer un certain nombre de relations humaines d'amour et d'affection entre les parents et entre tous les membres de la famille. Le logement est ainsi un espace qui procure du bonheur aux enfants et aux adultes. Le lieu qui procure à l'individu le sentiment de respect et de reconnaissance de la part des autres ainsi que le sentiment de fidélité, de loyauté, de sécurité, d'honnêteté et bien d'autres. Le foyer est également un lieu de partage, de don de soi et une source de fidélité.

Espace de protection et d'intimité, ce lieu de vie procure à l'individu le sentiment de confort. L'individu est en mesure de pratiquer ses loisirs tout en étant dans de bonnes dispositions. Il est, dès lors, un espace de loisirs où l'homme peut faire valoir son inventivité, sa créativité et son sens de l'innovation [BANE ET CHAPIN 1945].

C'est enfin, le lieu qui préserve les composantes de base culturelle, linguistique et traditionnelle pour ainsi les transmettre aux générations à venir<sup>3</sup> [WRIGHT, 1964].

L'habitat n'est pas, par nature, une invention humaine. C'est quelque chose que l'on recherche instinctivement comme le font, d'ailleurs, les animaux dans un monde rarement en parfait accord avec nos besoins physiologiques et sociaux [ALLEN, 2005].

---

<sup>3</sup> A review of philosophies and paradigms ; Heather Chappells Elizabeth Shove (2004).

### 1-2-2 Le confort

RYBCZYNSKI [*RYBCZYNSKI, 1987*] dans son livre s'est interrogé sur les idées architecturales à propos des significations du concept de confort et s'est posé la question de ce qu'est le confort au-delà de la zone de confort ? En s'intéressant à la signification du confort dans le cadre de l'habitat, il a décrit une théorie qui a subi des mutations à travers les siècles en relation avec l'évolution des idées et des concepts à propos des notions d'intimité, d'austérité, d'efficacité, de la vie familiale et de modernité. Rybczynski conclut en explorant aussi le changement de signification du confort dans la société.

Le terme de « *confort* » pourrait servir à décrire un sentiment de satisfaction, d'aisance, ou un état de bien-être physique et psychique. Le confort est mieux défini par la négative à savoir ce qu'est l'inconfort [*EMERY, 2005*]. Le sentiment de confort dépend de nos sens perceptifs sensibles<sup>4</sup> : les yeux, les oreilles, le nez, les capteurs tactiles, les capteurs de chaleur et le cerveau. Les questions de confort ont été abordées par un certain nombre de spécialistes appartenant à différentes disciplines notamment par les architectes, les urbanistes, les géographes, les sociologues, les physiologistes, les historiens, les biologistes et les psychologues de l'environnement en premier lieu.

Nous nous préoccuperons de la manière par laquelle les différentes significations de la notion de confort sont parvenues à déterminer le cadre intérieur des logements ainsi que les stratégies de régulation thermique que celles-ci intègrent. Les significations de la notion de confort ont beaucoup changé au cours du siècle dernier, avec des implications considérables au niveau de la gestion environnementale intérieure et de l'énergie [*CHAPPELLE ET SHOVE, 2004*].

Les conditions de vie que les habitants recherchent à l'intérieur de leur maison, notamment en termes de technologies de refroidissement et de chauffage, ont alourdi le poids des demandes énergétiques mondiales. Il est fort probable que les standards actuels de confort ne puissent être maintenus à l'avenir surtout si le maintien de ces conditions entraîne une

---

<sup>4</sup>Confort sensible.

utilisation plus accrue de la climatisation pour aménager les effets de la régulation thermique plus pressante que jamais.

Les recherches sur l'interaction entre l'environnement intérieur et extérieur ainsi que la relation entre les constructions, le climat et la culture sont également très pertinentes [ARONIN, 1953 ; OLGAY, 1963 ; MAHONY, 1971 ET GIVONI, 1976, 1998]<sup>5</sup>. Les architectes, les planificateurs et les géographes ont tous examiné l'ampleur de l'interaction des formes urbaines, des fonctions et conditions microclimatiques afin de créer des zones de diversité thermique au niveau des villes et comment cela peut influencer les perceptions et les actions des utilisateurs de ces espaces [RATTI, 2005].

Plus récemment, les préoccupations et inquiétudes à propos du changement climatique ainsi que l'augmentation des émissions de CO2 ont incité des ingénieurs en environnement et des économistes à produire des modèles qui pourraient prévoir à quoi ressembleraient les conditions extérieures futures et ce que cela pourrait signifier en terme de définition de la notion de confort ainsi que la détermination de l'environnement intérieur [LIEBARD ET DE-HERDE, 2006].

## **1-3 Les besoins humains**

### **1-3-1 L'habitat**

La nourriture, le logement et l'habillement sont trois choses essentielles sur lesquelles repose l'existence humaine. L'habitat répond au besoin psychologique et physique de disposer d'un abri. Celui-ci assure la protection de l'individu sous n'importe quelles circonstances inappropriées mais il le protège, également, contre d'autres personnes. Le logement inadéquat peut être à l'origine d'un certain nombre de malaises et de maladies qui peuvent aller jusqu'à la mort. L'habitat peut assurer certains besoins corporels ou physiologiques, sociaux, culturels et psychologiques.

---

<sup>5</sup>D'après Chappells et Shove (2004), Russell (2012).

A ce stade, certains auteurs présentent le corps humain avant tout comme étant une machine qui ne fonctionne correctement qu'en présence d'un ensemble de facteurs [ALLEN, 2005]. Toutefois, l'homme est évidemment bien plus qu'une simple machine physique. L'homme, de par sa nature, est en constante recherche d'activités sociales. Cette dimension sociale de l'homme va lui permettre de se distraire, de se détendre et plus généralement de profiter de la vie en créant, produisant, apprenant et en évoluant au contact des autres.

Au niveau le plus élémentaire, chaque personne a besoin d'un espace pour dormir qui comprend des commodités permettant d'assurer les bases de l'hygiène personnelle ainsi que les moyens et outils nécessaires pour boire et préparer à manger. Toutefois, la plupart des gens vivent dans un cadre familial et dans un milieu plus restreint ; un lieu appelé foyer. La vie en famille requiert un espace intime pour les parents et d'autres pour l'éducation des enfants. La préparation et le fait même de manger sont devenus des processus élaborés au sein de la cellule familiale. Le processus de nutrition physique est, dès lors, une source et un cadre d'interaction sociale et ce à plusieurs niveaux. Le foyer devient un espace où les différents membres de la famille vont pouvoir effectuer certains types de travaux. Il est censé être un espace de protection et d'intimité pour la famille. Il est à la fois fermé et privé pendant certains moments, et ouvert à d'autres au gré de la volonté de ses occupants. Ces exigences d'un environnement humain de haute qualité sont nombreuses et souvent strictes. Elles comprennent aussi bien les exigences physiologiques et sociales que psychologiques ; ces dernières étant plus difficiles à définir [ALLEN, 2005].

### **1-3-2 Les besoins humains et l'environnement, la pyramide de Maslow**

La théorie de Maslow de la hiérarchie des besoins est un des cadres fondamentaux pour l'analyse des besoins de l'homme en termes d'habitat. La théorie stipule que les besoins essentiels se trouvant à la base de cette hiérarchie doivent d'abord être respectés et satisfaites avant de se préoccuper de la satisfaction des besoins supérieurs comme il est précisé dans le schéma qui suit (Figure1-1).

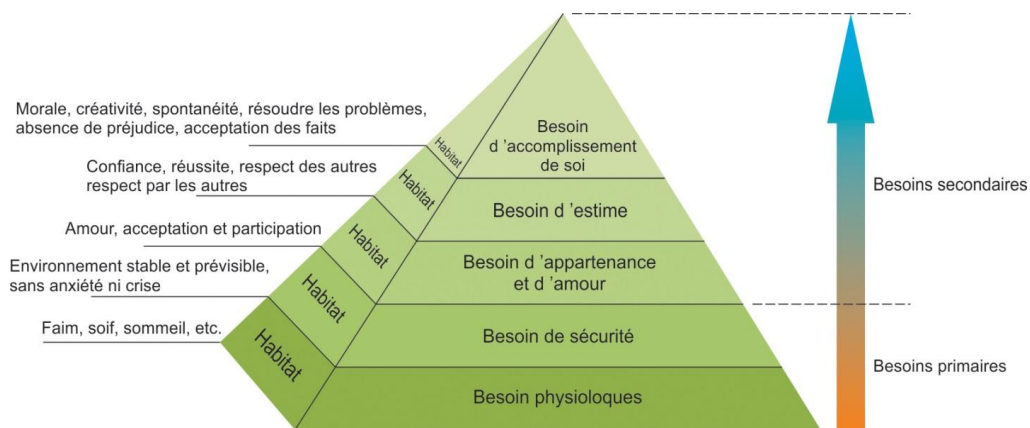


Figure 1-1 : Schéma représentatif des besoins humains et des motivations poursuivies selon la hiérarchie de Maslow, par l'auteur d'après [Wikipedia 2013].

### 1-3-2-1 Besoins physiologiques

Les besoins physiologiques tels que le besoin de respirer, de manger et de dormir ainsi que le besoin de sécurité et de protection contre l'ennemi sont des exigences fondamentales qui sont communes à tous les hommes. Le type de logement requis pour préserver la survie de l'individu varie d'un endroit à l'autre.

### 1-3-2-2 Besoin de sécurité et de protection

Le besoin de sécurité et de protection dépend du ressenti de l'individu à l'égard de sa propre vie et de son milieu. Le rôle de l'habitat est à juste titre celui d'offrir la protection contre les éléments venant du milieu extérieur. La satisfaction du besoin de sécurité ne peut être atteinte qu'à travers un habitat qui répond aux exigences de protection dans n'importe quelles circonstances extérieures anormales et qui assure également un environnement sain et relativement exempt de toute gêne pouvant être occasionnée notamment par le bruit, la chaleur, la fumée, etc.

### 1-3-2-3 Besoin d'appartenance et d'amour

Les besoins sociaux comprennent les besoins fondamentaux pour les êtres humains, tels que le besoin d'amour, le sentiment d'acceptation par autrui, ainsi que le besoin de partage. L'habitat joue un rôle important dans la satisfaction de ces besoins sociaux. En effet, l'habitat est le centre de la vie familiale, qui procure la force principale dans l'intégration

sociale des enfants. C'est le lieu où les relations humaines subissent le moins de pression avec des relations qui, quand bien même peuvent s'entremêler, durent le plus dans le temps. Le foyer est un espace qui offre un cadre de liberté dans les relations qui s'entremêlent. Il permet de construire des relations, d'en développer d'autres et de contribuer ainsi à satisfaire les besoins sociaux.

### **1-3-2-4 Besoin d'estime**

Le besoin d'estime est lié aux besoins communément admis par l'individu et par la société. Les normes et les critères de l'habitat dépendent du type de logement mais également de la possibilité de réaliser les conditions prévisibles qui affectent le degré d'acceptation par l'entourage et aussi le sentiment d'estime par soi même.

### **1-3-2-5 Besoin d'accomplissement de soi**

Le besoin d'accomplissement de soi met en évidence la nécessité de prendre conscience des motivations humaines d'être aimé, d'évoluer sur un plan personnel et d'entretenir des relations positives avec les autres. L'habitat peut jouer un rôle clé dans l'accomplissement de soi à travers un logement qui permet à la personne de s'exprimer par le biais notamment de la forme générale du logement lui-même ou bien par le biais des loisirs qu'elle y exerce. Un tel logement permet de réaliser une partie importante des conditions d'une famille saine qui peut dès lors remplir ses fonctions en tant que regroupement d'individus<sup>6</sup>.

## **1-4 Variables affectant le climat ou facteurs climatiques**

Le temps et le climat sont tous les deux caractérisés par certaines variables connues sous l'expression de « *facteurs climatiques* » qui sont comme suit :

---

<sup>6</sup> **WIKIPEDIA.** Concept de Psychologie: Effet Flynn, Individuation, Pyramide Des Besoins de Maslow, Identite, Locus de Controle, Dissonance Cognitive, Syndrom. University-Press.Org, 2013.

### 1-4-1 Rayonnement solaire

Le soleil est le facteur le plus important dans notre vie, il affecte considérablement nos constructions, l'air que nous respirons, la nourriture que nous mangeons. Le soleil réchauffe notre corps et les constructions à travers le rayonnement direct ou par le réchauffement de l'air qui nous entoure. Cela peut parfois améliorer notre confort et d'autres fois nous mettre dans une situation inconfortable (Figure 1-2).

Les rayons du soleil illuminent l'extérieur, désinfectent les surfaces qu'ils touchent, activent la formation de la vitamine D dans notre peau et plus généralement produisent un effet stimulant sur notre humeur. Le rayonnement solaire décompose aussi les matériaux avec lesquels nous construisons, nous brûle la peau, et favorise le cancer de la peau. Le soleil peut être à la fois source de vie et cause de destruction de celle-ci [ALLEN, 2005].

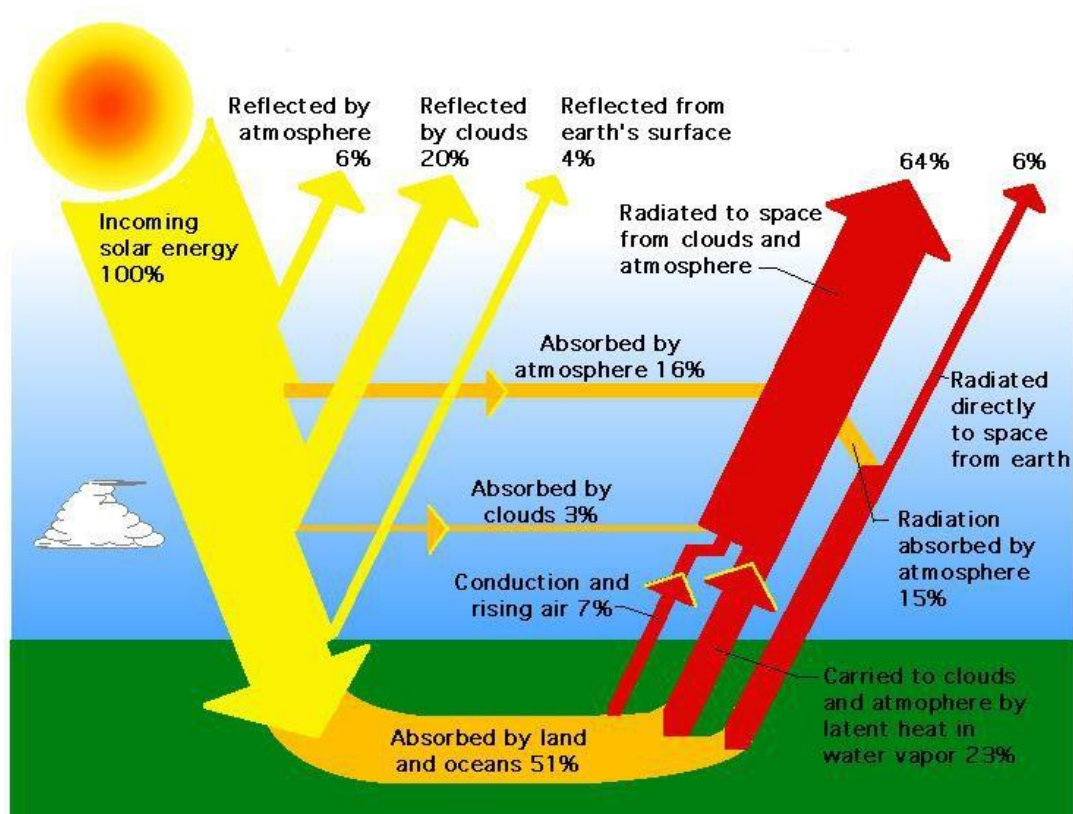


Figure 1-2 Bilan énergétique, le schéma de la Terre [<http://science-edu.larc.nasa.gov>].

Le rayonnement solaire est l'énergie de rayonnement radiatif reçu du soleil. L'intensité des rayons du soleil projetée par unité de temps et par unité de surface est généralement exprimée en watts par mètre carré ( $W/m^2$ ). Le rayonnement incident sur une surface varie d'un moment à l'autre en fonction de sa situation géographique, de l'heure de la journée

(latitude et longitude du lieu), de l'orientation, de la saison et des conditions atmosphériques (Tableau 1-1). Le rayonnement solaire est la variable climatique la plus importante qui détermine si un lieu connaît des températures élevées ou s'il est principalement froid.

Angle d'incidence (Degré°)	Rayonnement intercepté (Pourcentage %)
0	100,0
5	99,6
10	98,5
15	96,5
20	94,0
25	90,6
30	86,6
35	81,9
40	76,6
45	70,7
50	64,3
55	57,4
60	50,0
65	42,3
70	34,2
75	25,8
80	17,4
85	8,7
90	0,0

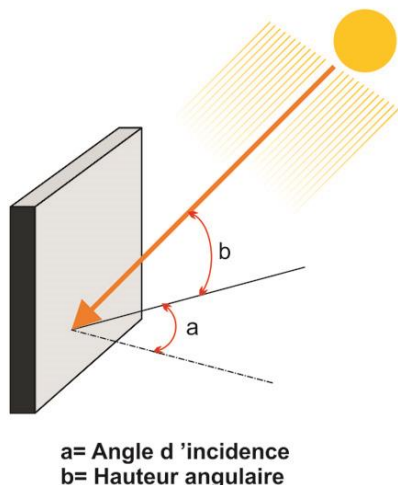


Tableau 1-1 : Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence ; [Représenté par l'auteur d'après Mazria, 2005].

La quantité de rayonnement solaire qui atteint une surface particulière de la terre est tributaire d'un certain nombre de facteurs. Cela comprend notamment la longueur du jour, l'angle d'incidence des rayons du soleil sur le sol et la quantité de rayonnement qui traverse l'atmosphère à chaque moment de la journée. L'interférence atmosphérique est le facteur le plus difficile à évaluer parmi ces trois facteurs [ANDER, 2003].

Le soleil transmet directement peu de chaleur à l'atmosphère de la terre. Au lieu de cela, la surface de terre et les objets qui s'y trouvent sont réchauffés par le rayonnement solaire, et à leur tour, ceux-ci passent une partie de leur chaleur à l'air.

La vitesse à laquelle une portion du sol terrestre est réchauffée dépend de plusieurs facteurs commençant par la quantité d'énergie solaire qui arrive à la surface. Si on admet l'existence de conditions atmosphériques identiques, une portion de terre à proximité de l'équateur va recevoir plus de chaleur solaire qu'une autre qui se trouve plus loin de l'équateur en raison de l'angle d'incidence plus élevé des rayons du soleil sur le sol (Figure 1-3).



Pour la même raison, la pente d'une colline exposée vers le sud reçoit une plus grande intensité de rayons du soleil qu'un terrain plat, et une pente raide orientée vers le nord peut ne rien recevoir du tout [GIVONI, 1994].

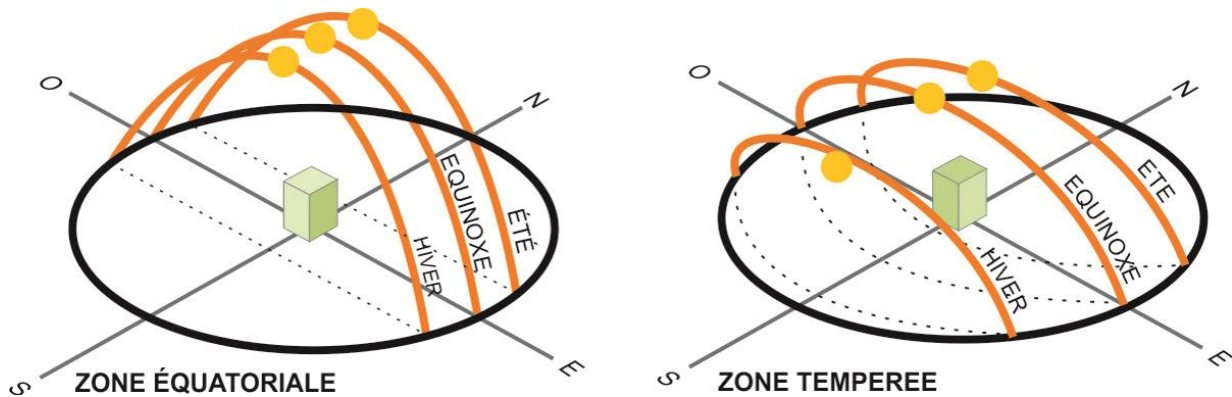


Figure 1-3 : Mouvement de la terre dans les zones équatoriales et les zones tempérées ;  
par l'auteur.

Un second facteur qui affecte la vitesse à laquelle la terre est réchauffée est la partie du rayonnement solaire que la terre reflète, représentant à peu près 20%, laissant 80% absorbé. Une partie de ces 80% va probablement servir à réchauffer le sol et reste donc stockée temporairement. Une partie est dépensée par évaporation de l'eau du sol terrestre, une autre est réémise par rayonnement infrarouge vers l'espace et vers les objets terrestres froids. Ce qui reste de ces 80% va servir à réchauffer l'atmosphère terrestre [MAZRIA, 2005].

À côté de ses effets thermiques (ceux consistant à réchauffer la terre, la formation du vent et les précipitations), le soleil exerce également d'importants effets non thermiques. Il fournit de la lumière visible ainsi que de l'énergie nécessaire à la photosynthèse des plantes.

#### 1-4-2 Lumière du jour

Le rôle des rayons solaires dans l'éclairage des constructions sera plus tard abordé en détail, mais il faut noter dès à présent que les rayons solaires projetés directement produisent souvent un éclairage beaucoup trop lumineux, brillant et inconfortable. La lumière visible diffusée par l'atmosphère pendant la journée est beaucoup plus utile, de même que l'éclairage assez reposant d'une zone ombragée (Figure 1-4).

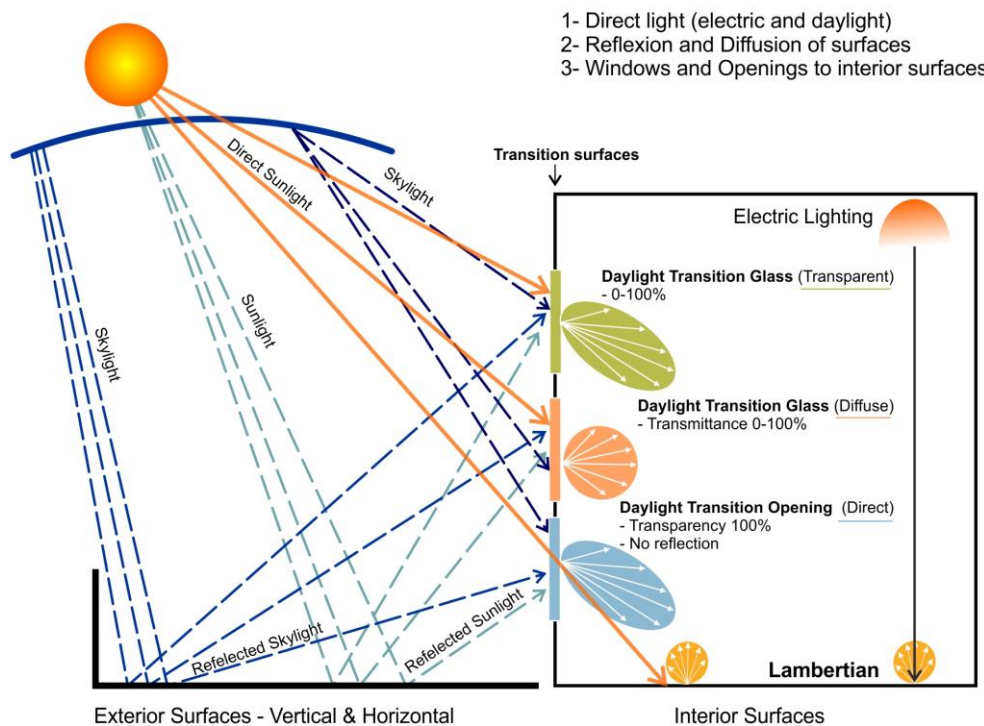


Figure 1-4 : Sources de lumière du jour à l'espace intérieur ; par l'auteur d'après [docs.agi32.com].

### 1-4-3 L'humidité de l'air

L'humidité de l'air, qui représente la quantité d'eau sous formes gazeuse présente dans l'air, est généralement exprimée en terme d'«*humidité relative*». L'humidité relative est définie comme le rapport de la masse de vapeur d'eau dans un certain volume d'air humide à une température donnée, à la masse de la vapeur d'eau dans le même volume d'air saturé à la même température. Elle est normalement exprimée en pourcentage [ELHOZAYEN 2013]. Elle varie considérablement, ayant tendance à être plus élevée à l'approche de l'aube, quand la température de l'air est à son plus bas, et à diminuer à mesure que la température de l'air augmente.

La diminution de l'humidité relative vers midi tend à être la plus élevée en été. Dans les zones à fort taux d'humidité, la transmission du rayonnement solaire est réduite en raison de l'absorption et de la diffusion atmosphérique. Une forte humidité réduit l'évaporation de l'eau et la transpiration. Par conséquent, une forte humidité accompagnée d'une température ambiante élevée provoque beaucoup d'inconfort [MANIBHAI, 2013] (Figure1-5).

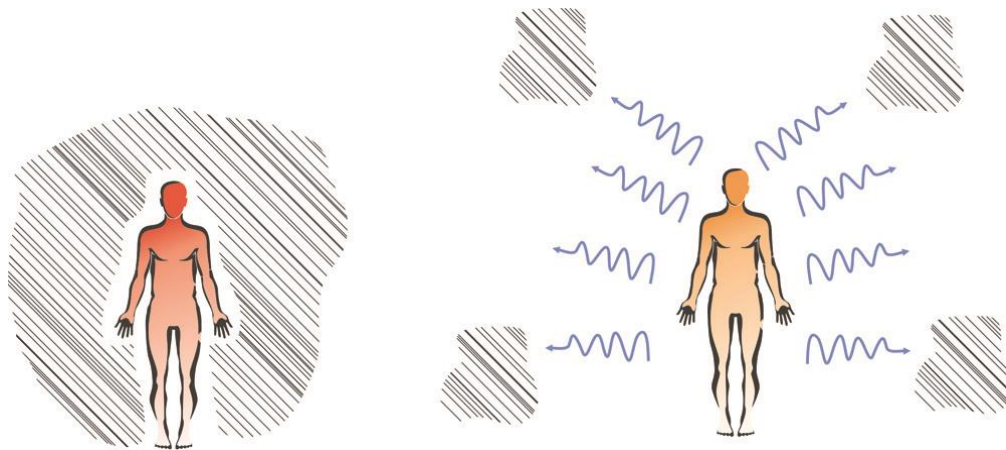


Figure 1-5 : les effets de l'humidité de l'air ; à gauche une humidité relative et température élevée ( $HR > 90\%$ ) qui rend l'évaporation de la transpiration très difficile et donc le refroidissement ; à droite une humidité relative faible qui permet à la sueur de s'évaporer et refroidir le corps ; par l'auteur, d'après [Manibhai, 2013].

#### 1-4-4 La température ambiante

« La température de l'air dans une enceinte ombragée (mais bien ventilée) est connue comme étant la température ambiante, généralement exprimée en degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). La température d'un endroit dépend du vent ainsi que des facteurs locaux tels que l'ombrage, la présence d'un plan d'eau, les conditions solaires, etc » [ELHOZAYEN 2013]. Lorsque la vitesse du vent est faible, les facteurs locaux ont une grande influence sur la température de l'air proche du sol. Avec des vitesses de vent plus élevées, la température de l'air entrant est moins affectée par les conditions locales. De multiples facteurs ont un effet sur la température ambiante telle que l'ombrage, la présence d'un plan d'eau et les conditions du ciel. Un simple thermomètre maintenu dans un abri Stevenson peut mesurer la température ambiante [LIEBARD ET DE HERDE, 2002].

#### 1-4-5 Les précipitations

Elles sont la conséquence de la création des nuages à partir de vapeur d'eau qui monte dans l'atmosphère avant de refroidir et de retomber sous forme de pluie ou de neige. Les précipitations comprennent l'eau sous toutes ses formes, que ce soit la pluie, la neige, la

grêle ou la rosée. On les mesure généralement en millimètres (mm) à l'aide d'un pluviomètre [MONTESARCHIO, 2011].

#### **1-4-6 L'état du ciel**

La condition du ciel fait généralement référence à l'étendue de la couche de nuages dans le ciel ou à la durée d'ensoleillement. Dans des conditions de ciel dégagé, l'intensité du rayonnement solaire augmente et le taux d'humidité dans l'air varie en fonction de la couverture nuageuse [MANIBHAI, 2013]. De plus, nous pouvons souligner le fait que si nous sommes en présence de bâtiments de grandes surfaces, couplé à une hauteur de ces derniers non négligeable devant la largeur des rues, cela aura une influence sur le rayonnement reçu par les façades voisines par réflexion. Ce qui impliquera une sensation apparente de ciel couvert pour la majorité des façades n'étant pas en contact direct du rayonnement solaire.

Étant donné que l'étude de cas de la recherche se concentre sur les éléments des ouvertures dans la façade et leur impact sur les espaces intérieurs, nous allons exposer l'interaction entre le bâtiment et les facteurs externes, notamment la ventilation et la luminosité.

### **1-5 Les fonctions d'un habitat**

«Notre concept de ce qu'un bâtiment devrait faire est bien au-delà de ce que l'on trouve à la définition d'un logement dans le dictionnaire» [ALLEN, 2005]. Fonctionnellement, un bâtiment est ce que nous en attendons, et nos attentes ont connu une croissance très importante. La liste qui suit tente d'inclure toutes les attentes fonctionnelles élémentaires et secondaires que nous sommes susceptibles d'avoir pour un bâtiment à l'heure actuelle, disposées à peu près dans l'ordre décroissant selon l'importance relative de chacune au soutien de la vie [ALLEN, 2005] :

i/ De l'air pur pour respirer.

ii/ De l'eau propre pour boire, préparer la nourriture, nettoyer et rincer les aliments, se laver.

iii/ Dans plusieurs bâtiments, les aménagements pour préparer et consommer la nourriture.

iv/ La suppression et le recyclage des déchets, comprenant les excréments, l'eau de rinçage, les déchets organiques et les ordures.

v/ Créer les conditions nécessaires au confort thermique humain :

a- Contrôler les flux radiatif.

b- Contrôler la température de l'air.

c- Contrôler les caractéristiques thermiques des surfaces en contact direct avec le corps humain.

d- Contrôler l'humidité et le flux de vapeur d'eau.

e- Contrôler la circulation de l'air.

vi/ Un bâtiment pour créer les conditions nécessaires au confort sensoriel, à l'efficacité et à l'intimité:

a- Des conditions de visibilité optimales avec la lumière naturelle et artificielle.

b- Une intimité visuelle.

c- Des conditions d'écoute optimales.

d- Une intimité acoustique.

vii/ Contrôler l'entrée et la sortie des êtres vivants de toutes sortes.

viii/ Distribuer de l'énergie de manière concentrée aux points avantageux pour usage dans l'alimentation de différentes lumières, outils et appareils.

ix/ Fournir une mise à jour des chaînes de connexion et de communication avec le monde extérieur : fenêtres, téléphones, boîtes aux lettres, réseaux informatiques, câbles vidéo, antennes paraboliques, et ainsi de suite ...

x/ Faciliter le confort corporel, la sécurité et l'activité productive en aménageant des surfaces utiles : sols, murs, escaliers, étagères, comptoirs, bancs, etc.

xi/ Fournir un appui stable aux poids de toutes les personnes, biens et dispositifs architecturaux de l'immeuble ainsi qu'une résistance structurelle suffisante aux forces physiques induites par la neige, le vent et/ou les tremblements de terre. Ce qui représente un des paramètres les plus importants respectés par tout architecte.

xii/ Protéger sa propre structure, ses propres surfaces, systèmes mécaniques et électriques internes, et autres dispositifs architecturaux de toute humidité causée suite à des précipitations ou autres provenances des eaux.

xiii/ S'adapter à ses propres mouvements habituels, tels que la stabilité de la fondation, son expansion et sa contraction thermique, ainsi que le mouvement induit par des changements dans la teneur en humidité des matériaux de construction, sans dommage pour lui-même ou son contenu.

xiv/ Un bâtiment construit sans frais excessif ou difficulté.

xv/ Un bâtiment que l'on puisse exploiter, maintenir et évoluer de manière utile et économique (Figure 1-6).

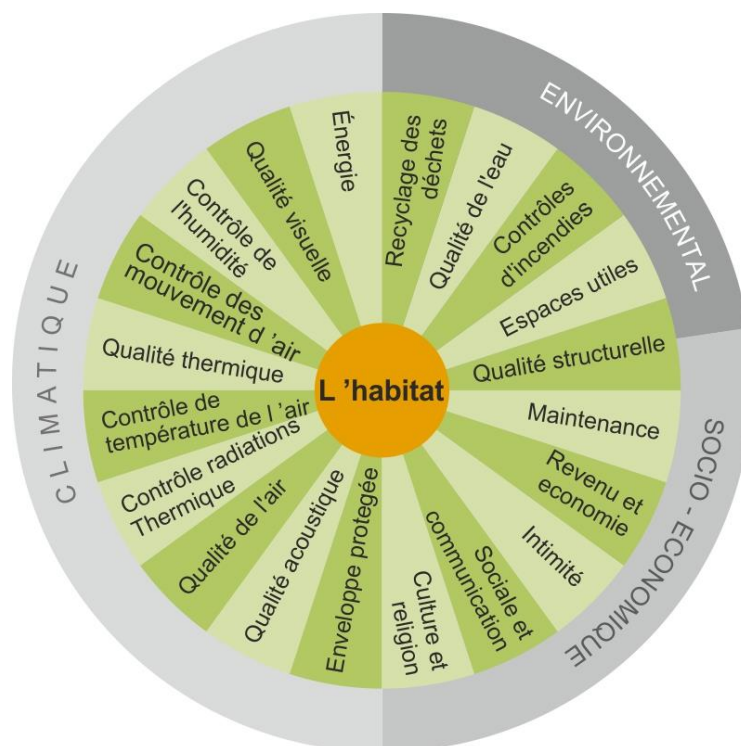


Figure 1-6 : les besoins humains dans leur foyer; représenté par l'auteur d'après [Allen, 2005].

Cette liste commence avec les attentes qui découlent plus ou moins naturellement des besoins humains au milieu d'un environnement extérieur hostile. Nous remarquons qu'à partir du point *viii*/ jusqu'à la fin de la liste, les attentes sont d'un genre différent. Ces articles sont les besoins secondaires pour l'homme. Ces besoins sont dans le niveau supérieur de la pyramide de Maslow, mais en même temps ils présentent une importance primordiale pour les utilisateurs d'un bâtiment. Le mouvement et le feu sont des problèmes qui se posent

uniquement parce que le bâtiment existe, mais à moins que le bâtiment ne soit capable de résoudre ces problèmes lui-même, ils constituent un danger pour ses occupants.

### **1-5-1 Confort et environnement intérieur**

Depuis les années 1920, les chercheurs dans le domaine des sciences de l'ingénierie et de la construction ont poursuivi l'objectif de définir les paramètres physiologiques et psychologiques du confort afin de déterminer les conditions qui doivent être obtenues ou réalisées par les acteurs intervenants dans le domaine des technologies et des bâtiments [CHAPPELLE ET SHOVE, 2004].

#### **1-5-1-1 La conception de l'habitat et l'impact socioculturel sur le confort**

Le design de chaque maison reflète une certaine représentation des caractéristiques socioculturelles. Ces caractéristiques peuvent provenir de l'intervention de l'architecte, de l'utilisateur final ou être tout simplement le produit d'une culture importée. A supposer qu'au stade de la conception de la maison, le design ne reflète pas les caractéristiques socioculturelles du propriétaire, et que la maison est construite suivant ce même design, il est presque certain que le propriétaire ou bien son entourage social vont tenter d'améliorer ce produit. Le design vise, en effet, principalement à répondre aux besoins et à assurer le confort de l'utilisateur final et il n'en reste pas moins que la satisfaction socioculturelle fait partie de cet objectif.

Chaque société se distingue par sa propre identité qui est le reflet des valeurs socioculturelles qui la traversent. La société est, souvent, décrite sur la base de son identité et l'identité de l'espace de l'habitation dépend du design mis en place par l'architecte. L'architecte se doit de comprendre les paramètres socioculturels qui exercent une influence sur les personnes en question [OLATUNDE, 2012].

Selon DEMCHAK [DEMCHAK, 2000], la façon dont nous affirmons notre identité comprend tous les aspects de notre vie : l'endroit où nous vivons, les personnes avec qui nous vivons, les produits que nous achetons, le type de travail que nous effectuons, ce que nous mangeons, et plus généralement les biens que nous consommons. Cette vision peut être transposée à tous les aspects de notre vie quotidienne. Toutefois, l'élément clé demeure l'habitation où nous vivons et que nous partageons, son mode de conception ainsi que son

design. Cette vision constitue le dénominateur commun de toutes les sociétés parce que toute discussion sur une société donnée est obligatoirement en rapport avec les personnes qui la composent et avec leurs environnements.

En 2013, Daniel FUJIWARA a en outre souligné le fait que l'identité est intimement liée à nos foyers et à la communauté à laquelle nous appartenons. On peut avec certitude affirmer que le design de chaque type de maison ainsi construite finit par déterminer la société qui est ainsi créée.

Les caractéristiques socio-culturelles et le style de vie des habitants ont un effet profond sur la conception ou le design de l'unité d'habitation de l'habitat. Il n'est pas possible de séparer la conception de la maison de son propriétaire parce que la conception de la maison est centrée sur et autour de celui-ci. Les facteurs socioculturels intervenant dans la conception des logements sont répertoriés par comme suit :

**La structure et la taille de la famille :** la structure de la famille détermine les exigences qualitatives, tandis que la taille de la famille détermine les exigences quantitatives comme le nombre de chambres, la surface de la maison et le type d'espaces.

**La sécurité :** joue un rôle important dans la détermination et le choix de la forme de la maison et des éléments de sécurité.

**L'intimité :** il faut faire une distinction entre l'intimité personnelle, l'intimité sociale et l'intimité publique. L'habitat répond à tous les types d'intimité.

**Les aspects religieux et culturels :** exercent une influence sur la forme, le plan et les arrangements spatiaux. Les expressions de ces facteurs varient en fonction de la société objet de l'examen et également leur degré d'influence selon la conception du logement [BARNES 2005, OLATUNDE 2012, DIKMEN 2005].

Nous apporterons plus de précisions sur ces éléments dans les développements ultérieurs à travers l'évaluation du confort dans les espaces intérieurs de la maison.

### **1-5-1-2 L'habitat et le confort physique**

Selon le principe environnemental, les gens choisissent un terrain pour y édifier leur habitat en fonction de la qualité de l'orientation du site par rapport au soleil et aux vents dominants,



en fonction également de l'existence ou non d'un bon drainage, de caractéristiques topographiques intéressantes ou utiles, d'arbres et de végétations qui procurent de l'ombre ou permettent de détecter le vent, ainsi que des sources en eau potable [ALLEN, 2005].

Les premières structures d'abris construites étaient en forme de dôme qui combinait à la fois les murs et le toit. Cependant, assez tôt dans l'histoire, les deux formes dominantes de cette enveloppe ont subi une évolution due au climat ainsi qu'aux matériaux alors disponibles : la charpente en bois et le mur en maçonnerie (Figure 1-7). Les premiers abris construits dans les zones de climats chauds en Afrique et en Asie utilisaient des cadres en bois ou en bambou revêtus de feuilles ou de textiles tissés. Dans d'autres régions avec un climat différent, on utilisait des matériaux locaux plus lourds, tels que la pierre, la roche et la terre cuite par le soleil, pour construire des abris plus pérennes et qui protégeaient de l'effet des facteurs climatiques [ARNOLD, 2009].



Figure 1-7 : Evolution de l'enveloppe du bâtiment.

Droite : Un dôme en forme de hutte en Ethiopie combine le mur et le toit dans des matériaux particuliers : des végétaux (feuilles, branches...)[[www.sslmit.units.it](http://www.sslmit.units.it)] ; gauche : logements emballés de boue, Shibām au Yémen [[www.webodyseum.com](http://www.webodyseum.com)].

## 1-6 La relation homme-environnement

Des auteurs comme Moser et Weiss ont mis l'accent sur le rôle de la dimension culturelle et temporelle de l'habitat. En effet, le foyer pris dans sa dimension physique à travers notamment sa forme, son orientation, son aménagement intérieur, les matériaux qui le composent ainsi que dans sa dimension sociale et à travers notamment sa disposition au sein de l'infrastructure sociale traduit un cadre de vie culturel spécifique qui s'inscrit dans la temporalité. L'homme est, en effet, en interaction avec son cadre de vie, qui est conditionné

par les pratiques culturelles, les représentations, les logiques et les manières de pensée qui prévalent à une période donnée, d'où l'importance à la fois du facteur culturel et temporel.

### **1-6-1 La dimension culturelle**

L'individu est en interaction continue avec son environnement. L'espace construit est ainsi une unité pertinente qui véhicule autant de significations déterminantes quant au fonctionnement cognitif et comportemental de l'individu qui s'y loge. L'environnement procure, en effet, du sens et de l'identité, en situant l'individu socialement, économiquement et culturellement. Notre vision de la nature humaine dépend de la perception de l'espace de chacun, cette perception étant une donnée culturellement construite, variable d'un individu à l'autre. Cet espace construit sera, en même temps, une sorte de miroir identitaire dans lequel va se reconnaître celui qui y réside.

L'habitat est, également, pour les autres une sorte de vitrine de l'identité de la personne qui l'occupe. Cet environnement est modelé par les exigences de l'individu en termes de qualité de vie qui varient d'une culture à l'autre. Ainsi, les besoins en termes d'espace ou de division de celui-ci sont tributaires de la position de l'individu non seulement dans l'organisation sociale mais dépendent, également, de son positionnement au niveau du cycle de vie [ALTMAN, 1978]. L'habitat est, néanmoins, une forme d'expression culturelle qui dépasse le strict cadre des besoins matériels. En effet, loin d'être neutre et exempt de valeurs, cet environnement est façonné par les représentations et valeurs culturelles de l'individu qui y réside. Celui-ci investit et aménage l'espace en fonction des représentations culturelles qui l'animent. Ainsi, par exemple, la notion de « *privacy* » ou d'intimité, qui est d'ailleurs variable d'un individu à l'autre, n'est définissable que dans un contexte culturel et temporel donné. Comme nous venons de le constater l'habitat est donc à la fois un miroir pour soi, et une vitrine pour les autres, de l'identité de la personne qui l'occupe [MOSER ET WEISS 2003].

### **1-6-2 La dimension temporelle**

La dimension temporelle joue un rôle considérable au niveau des perceptions et des pratiques de l'individu et conditionne, ainsi, l'ancrage territorial et le bien être de celui-ci. La compréhension du bien être requiert, en effet, la prise en compte du cycle de vie et de l'horizon de l'individu. Par exemple, les investissements spatiaux sont tributaires des besoins

de l'individu, à un moment donné de son cycle de vie, mais également de son rang social dans un contexte temporel donné.

Par ailleurs, et comme signalé précédemment, la temporalité conditionne également la construction de l'identité de l'individu. L'identité intègre, en effet, à la fois deux processus : d'une part, le temps passé par la personne dans un espace donné ou si l'on préfère son histoire résidentielle, et d'autre part, son expérience d'appropriation qui est variable d'un individu à l'autre suivant les relations interpersonnelles que celui-ci aura nouées avec son environnement, et qui peuvent être selon les cas satisfaisantes ou bien l'inverse [*MOSER ET WEISS 2003*].

### **1-6-3 L'environnement humain**

Pour plus de confort et d'efficacité, le corps humain a besoin d'une fourchette assez étroite de conditions environnementales par rapport à la portée de celles trouvées dans la nature. Les facteurs qui affectent les humains agréablement ou négativement comprennent [*EMERY, 2005*] :

- La température de l'air ambiant.
- Les températures de rayonnement des surfaces environnantes.
- L'humidité de l'air.
- Le mouvement de l'air.
- Les odeurs.
- La poussière.
- L'esthétique.
- Les bruits.
- La lumière.

La qualité d'un environnement humain peut simplement être mesurée en considérant ses effets sur les personnes. Mais les gens, à la fois physiquement et émotionnellement, sont des êtres difficiles à décrypter et les études de qualité sont rarement simples.

Même une question banale telle que : cet endroit est-il assez chaud ou suffisamment froid ? n'engendre pas forcément une réponse simple en termes de quantité. Une même personne, dans différentes circonstances, que ce soit la saison de l'année, la quantité de vêtements qu'elle porte, la température radiante, l'humidité relative, ou le mouvement de l'air, ses activités, estimera l'endroit suffisamment chaud pour une gamme de température de l'air s'étendant sur plusieurs degrés. Ce fait est assez surprenant pour un être dont la température interne ne peut pas varier de plus de deux degrés sans le mettre dans un état de stress corporel. Pour comprendre comment évaluer la qualité de l'environnement, il nous est alors nécessaire de commencer par regarder à l'intérieur du corps lui-même afin de comprendre comment celui-ci fonctionne [GONZALEZ, 2004].

Les réactions sensorielles et physiologiques de l'homme face à l'environnement thermique sont, dans une certaine mesure, interdépendants. La sensation de froid est associée à une température de la peau plus basse. La sensation de chaleur, de repos ou celle des personnes sédentaires, corrèle avec une température plus élevée de la peau par rapport à un taux de transpiration élevé. Ces deux réactions traduisent une charge thermique plus élevée sur le corps. Les réponses thermiques sensorielles sont discutées dans le tableau suivant.

Selon EMERY [EMERY, 2005], les principales réponses thermiques sensorielles sont les sensations de froid et de chaleur ainsi que l'inconfort d'une transpiration sensible. La sensation thermique, sur toute sa gamme allant de très froid à très chaud, est souvent classée (dans les études de confort) selon une échelle numérique de sept points (Tableau 1-2) qui nous aidera un peu plus tard dans l'enquête de notre cinquième chapitre :

<b>-3</b>	<b>Froid</b>
<b>-2</b>	<b>Frais</b>
<b>-1</b>	<b>Légèrement frais</b>
<b>0</b>	<b>Neutre (confortable)</b>
<b>1</b>	<b>Légèrement chaud</b>
<b>2</b>	<b>Chaud</b>
<b>3</b>	<b>Très chaud</b>

Tableau 1-2 : l'échelle de sensation de froid, chaleur et inconfort par [Emery, 2005].

Une échelle de -3 (froid) à +3 (très chaud) est parfois utilisée pour exprimer les mêmes sensations thermiques, 0 exprimant la sensation de neutralité. L'échelle allant de légèrement frais à légèrement chaud peut-être désignée comme exprimant des conditions acceptables.

Pour faciliter la représentation des transformations de l'air et le calcul des différents éléments de l'installation de climatisation on utilise le « *Diagramme psychrométrique* » de l'air humide [F. Cabeza - Mai 2002]. Une étude in situ avec l'utilisation d'un diagramme psychrométrique sera faite dans l'étude de cas de la deuxième partie (figure 1-8).

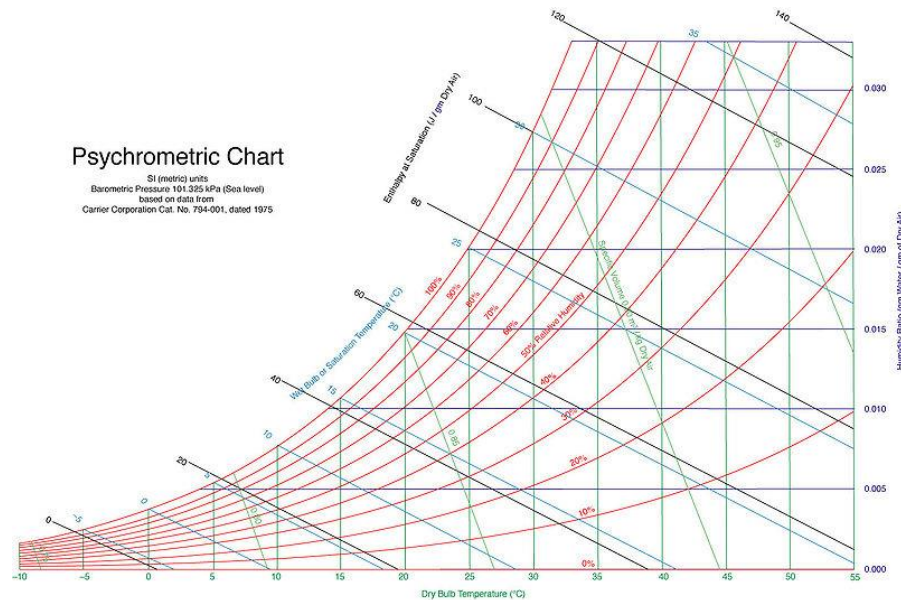


Figure 1-8 : Diagramme psychrométrique de l'humidité et de la température idéales en fonction de l'espace intérieur ; [F. Cabeza - Mai 2002].

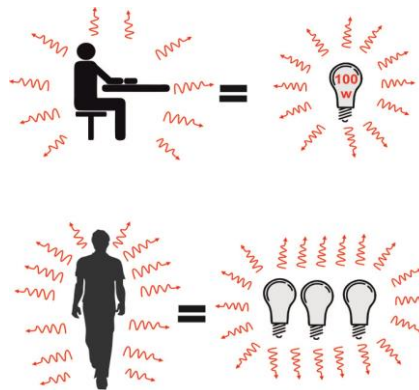
Les études des réponses sensorielles thermiques par l'auteur Givoni [GIVONI, 1976 ET GIVONI, 1998] ont démontré qu'un individu donné, après une certaine acclimatation, est tout à fait apte à l'évaluation de son propre état de confort ou de niveau d'inconfort. Il peut, en effet, distinguer les différents niveaux de l'échelle précédente, mais également et systématiquement déterminer les niveaux intermédiaires.

Nous avons besoin d'un approvisionnement régulier en eau pour faciliter les processus chimiques de notre corps, pour déplacer les produits de ces procédés à l'intérieur du corps et pour aider notre corps à se refroidir. Nous avons également besoin d'air et notamment de l'oxygène qui est un élément nécessaire au bon fonctionnement de cet ensemble de réactions chimiques qui brûlent les combustibles de l'alimentation pour maintenir le moteur thermique humain en route. Lorsque nous respirons de l'air à travers nos poumons, nous absorbons une partie de l'oxygène dans notre système sanguin. Nous mélangeons du

dioxyde de carbone et de l'eau, qui sont des déchets de la combustion, avec l'air de nos poumons avant de l'expirer de notre corps. Moins d'un cinquième de l'oxygène de l'air est remplacé par du dioxyde de carbone dans chacune de ces bouffées. Mais un apport continu d'air extérieur doit être à la disposition du corps pour éviter l'épuisement de son oxygène et la narcose du dioxyde de carbone par l'inhalation répétée du même air.

Grâce à l'examen de l'environnement physique affecté par des facteurs climatiques, nous allons à présent décrire la performance physique du corps humain face aux facteurs climatiques.

La température interne du fonctionnement normal du moteur humain est d'un peu moins de 37°C, une température qui doit être maintenue dans des tolérances étroites, afin d'éviter un dysfonctionnement métabolique. Mais nos corps ne sont que d'environ un cinquième efficace dans la conversion de l'énergie de la nourriture à un travail mécanique. Ils doivent dégager quatre fois plus de chaleur qu'ils n'utilisent afin de maintenir une température interne stable [ALLEN, 2005]. Un adulte travaillant à un bureau produit de la chaleur en excès à peu près au même rythme qu'une ampoule de 100 watts. La même personne qui marche génère deux à trois fois autant de chaleur et, lors d'un exercice vigoureux, six à dix fois (Figure 1-9). Les taux de refroidissement nécessaires pour revenir à l'équilibre hygrothermique sont obtenus grâce à une admirable collection de mécanismes physiologiques [GONZALEZ, 2004].



**Figure 1-9 : nous notons que la différence de rayonnement d'émissions de l'organisme dépend de l'activité ; d'après [Allen, 2005].**

Le corps est refroidi en continu par les échanges avec l'air que l'on respire (quand celui ci a une température inférieure à celle du corps), par la vaporisation de l'eau de nos poumons et des voies respiratoires, par la convection et le rayonnement de chaleur de la surface de la

peau et par la diffusion de petites quantités de vapeur d'eau à travers la peau. La température de la surface de notre peau, et donc son taux de perte de chaleur, est contrôlée par la dilatation ou constriction (agrandissement ou rétrécissement) des petits vaisseaux sanguins de la peau. Lorsque les vaisseaux se dilatent, la circulation du sang chaud près de la surface du corps augmente et la température de la peau augmente de manière à émettre de la chaleur plus rapidement dans le milieu environnant. Le volume de sang augmenté, qui est un excellent conducteur thermique, déplace également partiellement les tissus adipeux, qui sont de mauvais conducteurs thermiques, à proximité de la surface du corps. Cela augmente la perte de chaleur directe depuis les tissus corporels sous-jacents jusque dans l'environnement voisin. Cet ensemble très sensible de mécanismes, connus comme le système vaso-moteur, est capable de réguler le taux de perte de chaleur de l'organisme en vertu d'un assez large éventail de conditions [GONZALEZ, 2004].

Lorsque la vitesse de refroidissement par la respiration, la diffusion de la peau, le rayonnement de la peau et la convection de la peau, est insuffisante pour répondre aux demandes du corps, nous transpirons. L'eau est exsudée par les pores de la peau et s'évapore dans l'atmosphère. La chaleur latente de vaporisation qui est requise par cette évaporation est principalement fournie par le corps. De grandes quantités de chaleur peuvent être perdues de cette manière. Dans la plupart des cas, la transpiration est suffisante pour fournir le refroidissement supplémentaire requis, mais son efficacité dépend de la quantité d'humidité dans l'air. Si l'air ambiant est très sec, la transpiration s'évapore très rapidement et un refroidissement considérable est possible même lorsque la température de l'air est supérieure à la température de notre corps. Lorsque l'humidité de l'air ambiant est élevée, l'évaporation est lente et le taux de transpiration augmente à mesure que le corps tente de compenser. La situation peut être aidée, dans une certaine mesure, en augmentant le taux de circulation de l'air autour du corps : l'air en mouvement est plus efficace non seulement à évaporer la transpiration, mais aussi dans l'accélération convective de perte de chaleur de la peau, à condition que la température de l'air soit inférieure à la température de la peau. Toutefois, si le corps est dans une situation dans laquelle aucune de ces stratégies n'est suffisante, la température profonde du corps va augmenter jusqu'à ce que la fonction métabolique soit altérée, ce qui peut entraîner un coup de chaleur (Figure 1-10). Nous trouvons par exemple des gens dans la péninsule arabe,

région de climat chaud qui porte les vêtements traditionnels blancs. Ils permettent à l'air de traverser le tissu de coton léger, cela facilite le processus d'évaporation de la sueur et abaisse la température du corps et en étant de couleur claire évite l'absorption de la chaleur due au rayonnement.

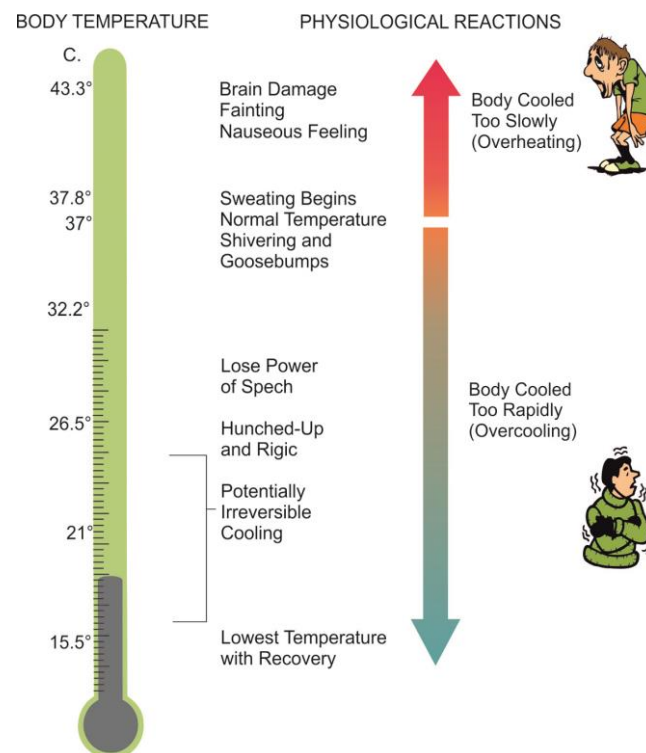


Figure 1-10 : les réactions physiologiques de la température du corps ; d'après [Emery, 2005].

#### 1-6-4 Les taux excessifs de refroidissement du corps

Dans des conditions où la chaleur part rapidement du corps, la perte de chaleur est particulièrement rapide à l'arrière du cou, à la tête, dans le dos et aux extrémités. Les vêtements et les meubles qui sont conçus pour entraver le flux de chaleur autour de ces zones sont particulièrement efficaces pour assister le confort thermique dans des conditions froides. Parce que le corps peut transférer de la chaleur par la circulation sanguine de l'une à l'autre de ses parties, les symptômes de la perte de chaleur excessive sont parfois difficiles à interpréter. Des chaussures chaudes peuvent ne pas être d'une grande aide pour les pieds froids si le refroidissement rapide se produit dans une autre partie du corps. Les personnes ayant des activités nombreuses à l'extérieur ont un dicton : « *Si vos pieds sont froids, mettez un chapeau* » Cette étrange stratégie fonctionne dans une proportion étonnamment grande



de cas, puisque que la tête, avec un rapport élevé de surface de transfert de chaleur vers le volume intérieur, est capable de rayonnement et de convection de très grandes quantités de chaleur dans un environnement froid, tout autant qu'un relativement faible radiateur d'automobile peut refroidir un très gros moteur. Le corps réagit à une perte excessive de chaleur, quelle que soit la partie de son corps concernée, en diminuant la température des pieds et des mains afin de maintenir les organes vitaux internes à une température optimale. Si la perte rapide de chaleur continue. Les poils de la peau sont érigés afin de piéger l'air immobile comme une couche isolante sur la peau. Un instinct en entraîne généralement un autre, à juste titre, notamment celui de réduire la surface exposée du corps en pliant les bras, courbant les épaules, et ramenant les jambes étroitement ensemble. Une autre réponse utile est de faire des exercices afin d'élever son niveau de production de chaleur métabolique pour qu'il corresponde à la vitesse à laquelle la chaleur est perdue. Si ces mesures sont insuffisantes, des frissons, des claquements de dents, formes involontaires d'exercices musculaires, commencent, générant de la chaleur. Et si même cela ne peut pas rétablir l'équilibre, la température profonde du corps va commencer à tomber, une condition connue comme l'hypothermie. L'hypothermie peut être inversée à ces premiers instants par la conduction directe de la chaleur dans le corps que ce soit grâce à la nourriture chaude et à la boisson, un bain chaud ou sauna, ou se blottir avec un ami. En revanche, à un stade avancé, un coma profond peut être suivi par la mort [EMERY, 2005].

Le corps humain n'est pas à l'aise quand il est sous stress thermique. La transpiration excessive est inconfortable et gênante. Il en est de même pour la chair de poule ou les frissons. Une surchauffe ou un refroidissement prolongé du corps entraînent une fatigue accrue et affaiblissent sa résistance aux maladies. Un environnement thermique humain approprié est, alors, fondamentalement celui dans lequel le corps est capable de dégager son excès de chaleur sans avoir besoin de transpirer, se blottir, avoir la chair de poule ou frissonner [EMERY, 2005].

## 1-7 Climat et l'habitat

La météorologie dans une zone donnée représente l'état atmosphérique de cet environnement au cours d'une période courte. Le climat ou plus spécifiquement le « *macro*

*climat* » est la moyenne des conditions météorologiques sur une longue période qui peut s'étaler sur plusieurs années.

Dans une construction individuelle, beaucoup de variables climatiques peuvent entrer en jeu. Le mouvement apparent du soleil à travers le site est rigidement fixé en fonction de la latitude géographique. Mais l'effet du rayonnement du soleil varie en fonction de l'orientation et de l'inclinaison du sol ou de la raideur de la pente du terrain, de la capacité d'absorption infrarouge de la surface du sol, de la présence ou de l'absence des végétations qui procurent de l'ombre, de la chaleur solaire réfléchie et réémise et des constructions environnantes ainsi que des caractéristiques géologiques. La température de l'air sur le site est en outre affectée par des facteurs tels que l'altitude du site au-dessus du niveau de la mer, sa proximité de plans d'eau, la direction des vents dominants ainsi que la présence de végétation d'ombrage.

La nature des vents est largement tributaire des obstacles locaux au passage du vent, comme les forêts, les arbres et les constructions. La terre labourée ou le sol noir, tel que l'asphalte, sont réchauffés par le soleil à une température plus élevée que celle des régions avoisinantes, augmentant ainsi la chaleur du rayonnement sur les surfaces environnantes ou voisines et provoquant de petits courants ascendants d'air chaud.

L'énergie libérée par les véhicules et les bâtiments est progressivement dissipée sous forme de chaleur à l'extérieur, réchauffant souvent l'air de 3 à 6°C, donc supérieure à celle de la campagne environnante. Les constructions et les véhicules augmentent artificiellement la température dans les grandes villes, créant souvent d'importants courants ascendants de convection qui peuvent avoir des effets climatiques considérables à l'échelle régionale [GIVONI, 1998].

### **1-7-1 L'interaction entre l'orientation, la régulation solaire et la ventilation**

GIVONI [GIVONI, 1998] a réalisé des études expérimentales discutées précédemment, notamment l'effet de l'orientation de la fenêtre sur le gain d'énergie et les températures intérieures. La pire orientation de cet aspect est à l'ouest, étant donné que le moment où l'énergie solaire maximale frappe la fenêtre en été dans cette orientation coïncide avec la

période où la température extérieure est à son maximum et similaire au sommet de la température intérieure, même sans apport solaire.

Par temps dégagé, les fenêtres de l'est reçoivent le même taux de rayonnement solaire que les fenêtres de l'ouest, mais l'impact du rayonnement dans ce cas est un peu différent. Le rayonnement frappe une fenêtre orientale lorsque le bâtiment n'est pas encore chauffé. Au petit matin, le rayonnement est le bienvenu dans la plupart des cas, même dans les régions chaudes, étant donné qu'une certaine présence du soleil dans l'espace est considérée comme préférable du point de vue de l'hygiène et de la santé.

Dans de nombreuses régions, le ciel du matin est souvent en partie nuageux de sorte à ce que le gain solaire réel d'une fenêtre de l'Est est moins important que d'une fenêtre occidentale. En outre, l'élévation de la température le matin, lorsque le bâtiment est encore frais, cause moins d'inconfort que quand il se produit à un moment où le bâtiment a déjà atteint une température proche de son maximum.

Les fenêtres du sud et du nord gagnent beaucoup moins d'énergie solaire en été, que les fenêtres de l'ouest et de l'est, et leur impact sur les températures intérieures en été est assez similaire. En hiver par contre, les fenêtres du Sud (dans l'hémisphère Nord) ont la meilleure exposition solaire et sont très utiles dans la fourniture de chauffage solaire passif. Les fenêtres du Nord en hiver sont l'un des facteurs de l'aspect thermique mais sont également très utiles pour l'éclairage naturel et la vue.

## **1-7-2 Le contrôle du rayonnement sur la façade**

L'intensité du rayonnement solaire est importante, non seulement pour le chauffage passif, le refroidissement, et l'éclairage naturel, mais aussi pour la production d'énergie propre sur place. L'un des rôles essentiels d'un bâtiment, en assurant un confort thermique, est de contrôler le rayonnement thermique vers et à partir du corps humain. Parfois, un bâtiment doit protéger le corps d'un afflux excessif de chaleur rayonnante du soleil ou des objets chauffés par le soleil. Dans certaines situations, la manipulation active du rayonnement est appropriée, tout comme le mécanisme majeur du système qui assure le confort thermique des occupants d'un bâtiment [ALLEN 2005]. Connaître les paramètres du rayonnement solaire peut aider notre analyse. L'intensité du soleil varie selon la clarté de l'atmosphère et

l'angle sous lequel le soleil frappe une surface, appelé l'angle d'incidence (Figure 1-11). Le plus perpendiculaire les rayons du soleil sont vis-à-vis de la surface, plus il y a de chaleur et d'énergie lumineuse [LIEBARD ET DE HERDE 2006].

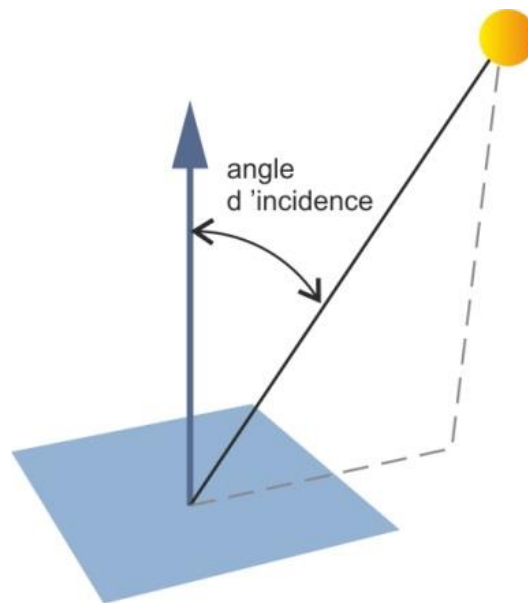


Figure 1-11 : l'angle d'incidence est l'angle entre les trois dimensions de la surface normale et la position actuelle du Soleil; par l'auteur.

### 1-7-2-1 Le rayonnement solaire incident

Les valeurs de rayonnement solaire incident sont données en unités d'énergie par unités de surface ( $W/m^2$  ou  $BTU/h/m^2$ ) et sont généralement le seul paramètre le plus utile pour les premières études de conception. Elles sont aussi parfois appelées insolation (rayonnement solaire incident) et parfois citées en termes d'énergie accumulée par jour ou par an ( $kWh/m^2/jour$  ou  $kWh/m^2/an$ ).

Les valeurs de rayonnement solaire incident sont basées sur deux éléments principaux :

I- Le rayonnement direct du soleil qui est toujours mesuré perpendiculairement aux rayons du soleil ( $i_b$ ).

II- Le rayonnement diffus qui est à la fois diffusé par les nuages et l'atmosphère ( $i_d$ ) diffusion du rayonnement du ciel et le sol en face de la surface ( $i_r$ ). Ceci est toujours mesuré sur une surface horizontale. L'équation du rayonnement solaire est :

$$I = I_b \cos(\theta) + i_d + i_r$$

### 1-7-2-2 Le rayonnement absorbé, transmis, et réfléchi

Bien que le rayonnement solaire incident soit uniquement la quantité d'énergie qui frappe une surface donnée, il ne vous indique pas nécessairement la quantité de rayonnement absorbée dans la façade de l'immeuble, transmise à travers les fenêtres d'un bâtiment, ou réfléchi. Cela dépend des propriétés du matériau et est régie par l'équation suivante:

$$100\% \text{ incident} - \text{réfléchi} = \text{Absorbé} + \text{Transmis}$$

### 1-7-2-3 La forme de construction et le rayonnement solaire

La forme du bâtiment est l'un des principaux paramètres qui déterminent l'enveloppe du bâtiment et sa relation avec l'environnement extérieur. Par conséquent, il peut affecter les quantités reçues du rayonnement solaire, le taux d'infiltration d'air et de même, les conditions thermiques à l'intérieur (Figure 1-12). Certaines formes et modèles urbains, tel que le modèle urbain traditionnel (organique) peuvent fournir l'auto-ombrage des surfaces qui peuvent diminuer le rayonnement solaire direct [MUHAISEN ET ABED 2013].

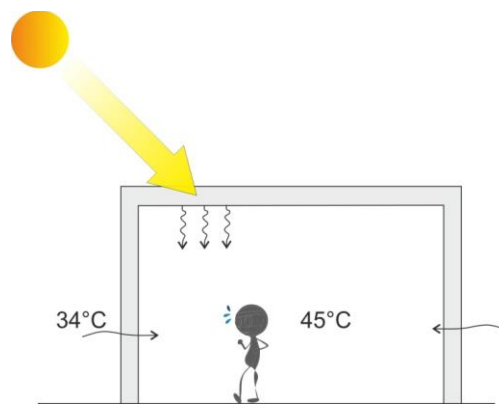


Figure 1-12 : l'effet du rayonnement solaire sur les espaces intérieurs; le rayonnement solaire arrive sur les surfaces du bâtiment et sa chaleur est transférée à l'intérieur par conduction et augmente la température intérieure jusqu'à des valeurs plus élevées qu'à l'extérieur ; par l'auteur, d'après [Gonzalez, 2009].

## 1-7-3 L'éclairage naturel

La course du soleil dans le ciel est prévisible en fonction du temps et la lumière du jour peut être une source très fiable de lumière. La lumière du soleil est considérée comme la lumière qui pénètre dans un espace directement à partir du soleil. Ce type de lumière n'est

généralement pas un bon éclairage pour l'intérieur. La lumière directe du soleil peut produire éblouissement et chaleur excessive. L'éclairage naturel indirect, tel qu'un puits de lumière, est le terme qui décrit la lumière naturelle souhaitable dans un espace. Les résultats de la lumière du jour dans une répartition de lumière perçue évitent l'éblouissement et des effets néfastes de la lumière directe du soleil. Bien que la lumière naturelle provienne du soleil, nous ne voulons pas directement la lumière du soleil lors de la conception de l'éclairage naturel, étant considéré qu'il peut apporter de la chaleur indésirable. La lumière naturelle est la lumière naturelle diffuse du ciel.

### **1-7-3-1 Le facteur de l'éclairage naturel**

Les niveaux réels d'éclairage par la lumière naturelle dans un espace peuvent varier considérablement en raison de la couverture nuageuse et de la position du soleil. Pour faire face à ces conditions de ciel très variables, certains professionnels du bâtiment et de la conception utilisent les facteurs de la lumière du jour comme critères de conception, plutôt que l'éclairement de la surface de travail (niveau d'éclairage naturel).

Les facteurs d'ensoleillement sont exprimés en pourcentage de la lumière naturelle qui tombe sur une surface de travail par rapport à ce qui serait tombé sur une surface horizontale complètement dégagée dans les mêmes conditions de ciel. Le facteur de lumière du jour est analysé en un point, mais ces valeurs sont souvent étudiées en moyenne sur une pièce entière ou visualisée sur une grille [JOHNSON ET WATKINS, 2010].

### **1-7-3-2 Les niveaux d'éclairage naturel**

La quantité de lumière émise par une source en particulier, dans toutes les directions, est appelé flux lumineux ou « *puissance lumineuse* » et est une mesure de la puissance totale de lumière perçue. Elle est mesurée en lumens. L'œil humain perçoit la lumière dans le « *spectre visible* » - entre les longueurs d'onde d'environ 390 nm (violet) et 780 nm (rouge). Les humains sont plus sensibles à certaines longueurs d'onde de lumière plus fortement (Figure1-13). Le flux lumineux est mis à l'échelle pour tenir compte de ce fait (en utilisant la fonction de luminosité). Le flux énergétique est une mesure connexe qui quantifie la

puissance totale du rayonnement électromagnétique d'une source (et pas seulement de la lumière visible – mais également l'infrarouge et l'ultraviolet), et est mesurée en watts.

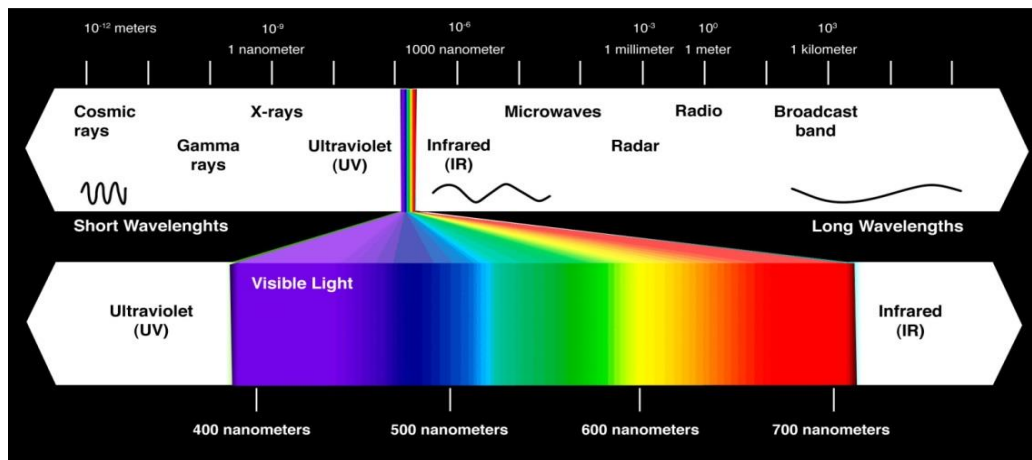


Figure 1-13 : le spectre visible et le spectre électromagnétique; source: [\[http://www.immunolight.com/\]](http://www.immunolight.com/).

Accroître ses connaissances en termes d'éclairage est une étape importante pour réduire les besoins en énergie d'un bâtiment, de sorte à ce qu'une bonne conception de l'éclairage utilise la lumière du jour, des lumières efficaces et de bons contrôles. L'éclairage naturel est une stratégie passive qui ne permet pas seulement de réduire votre charge d'éclairage; il rend les gens plus heureux et plus productifs. Mais le soleil se déplace dans la journée et dans l'année : il est alors parfois trop lumineux, et d'autres fois pas assez brillant.

### 1-7-3-3 Un aperçu des systèmes d'éclairage naturel

Un système d'éclairage naturel combine un vitrage (simple) avec un autre élément qui améliore la prestation ou le contrôle de la lumière dans un espace. Si les fenêtres ordinaires traitent de manière adéquate certains des besoins de clarté d'un espace, il existe de nouvelles technologies et des solutions qui étendent ces performances au-delà des solutions classiques:

- Fournir la lumière utile à de plus grandes distances de la paroi de la fenêtre, ce qui n'est pas possible avec un design classique,
- Augmenter la lumière du jour utile avec un climat au ciel principalement couvert,
- Augmenter la lumière du jour utile avec un climat très ensoleillé où le contrôle du soleil direct est nécessaire,

- Augmenter la lumière du jour utile pour les fenêtres masquées par des obstacles extérieurs et qui ont donc une vision restreinte du ciel,
- Transporter la lumière utile pour des espaces sans fenêtre [JOHNSEN ET WATKIN 2010].

#### **1-7-3-4 Les systèmes d'éclairage naturel sans ombrage**

Les systèmes d'éclairage naturel sans ombrage sont conçus principalement pour rediriger la lumière du jour vers les zones éloignées d'une fenêtre ou pour ouvrir un puits de lumière. Ils peuvent, ou non, bloquer la lumière du soleil directe. Ces systèmes peuvent être divisés en quatre catégories :

Les systèmes de guidage de lumière diffuse redirigent la lumière provenant de régions précises de la voûte céleste à l'intérieur de la salle. Dans des conditions de ciel couvert, la zone autour de l'apogée du ciel est beaucoup plus lumineuse (environ trois fois) que la zone proche de l'horizon. Pour les sites avec des obstacles externes (classiques dans des environnements urbains denses), la partie supérieure du ciel peut être la seule source de lumière. Les systèmes de guidage de lumière peuvent améliorer l'utilisation de la lumière du jour dans ces situations.

Les systèmes directs de guidage de lumière envoient la lumière directe du soleil à l'intérieur de la salle, sans les effets secondaires de l'éblouissement et de surchauffe.

Les systèmes de diffusion de la lumière sont utilisés pour les puits de lumière ou bien les légères ouvertures supérieures, afin de produire la distribution, même de jour. Si ces systèmes sont utilisés pour les fenêtres à ouverture verticale, une forte gêne liée à l'éblouissement peut survenir.

Les systèmes de transport léger recueillent et transportent la lumière du soleil sur de longues distances vers la base d'un bâtiment, via des fibres optiques ou des conduits de lumière [JOHNSEN ET WATKINS, 2010].

#### **1-7-3-5 Les systèmes d'éclairage naturel avec ombrage**

Deux types de systèmes d'éclairage naturel avec ombrage ont été examinés : les systèmes qui reposent essentiellement sur une lucarne diffuse et rejettent la lumière directe du soleil, et les systèmes qui utilisent principalement la lumière directe du soleil, et l'envoient sur le



plafond ou à des endroits supérieurs à la hauteur des yeux. Les systèmes de protection solaire classiques, tels que les volets, réduisent souvent considérablement l'admission de la lumière du jour dans une pièce. Pour augmenter la lumière du jour tout en procurant de l'ombre, des systèmes avancés ont été mis au point à la fois pour protéger la zone près de la fenêtre de la lumière directe du soleil, mais également pour renvoyer la lumière du jour et/ou diffuse à l'intérieur de la salle (Figure 1-14), [JOHNSON ET WATKINS, 2010].

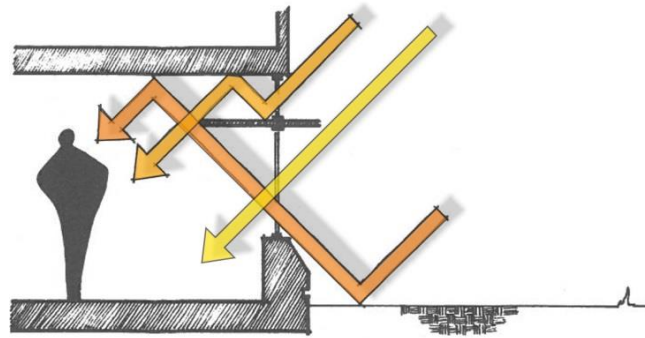


Figure 1-14 : Systèmes d'éclairage naturel dans l'espace intérieur. Ces éclairages sont l'éclairage direct qui traverse la fenêtre, l'éclairage qui réfléchit sur des surfaces extérieures et l'éclairage qui réfléchit sur des surfaces et des éléments architecturaux ; par l'auteur d'après [Ander, 2003].

#### **1-7-4 Interaction entre les éléments des façades et de l'habitat vernaculaire avec des facteurs climatiques dans la zone de cas d'étude**

##### **1-7-4-1 La régulation de la température**

La plupart des déserts sont parmi les endroits les plus chauds de la planète. Des températures allant jusqu'à 50°C sont bien au-delà de ce que le corps humain est capable de tolérer, à la fois en termes de confort et de survie selon une forme appropriée de contrôle thermique. Par conséquent, le premier rôle de chaque intervention architecturale dans le désert est de réduire considérablement la température de l'espace de vie [KOCH, 2002]. L'architecture vernaculaire du Moyen-Orient a été développée spécifiquement pour réguler la température interne, principalement par l'utilisation de grands murs avec une grande inertie thermique, les intérieurs sombres et de petites ouvertures. L'écart de température entre le jour et la nuit peut atteindre 20°C [ALJOFI, 2005]. Ce n'est pas la façade elle-même qui refroidit le bâtiment, mais plutôt une combinaison intelligente de caractéristiques architecturales, chacune étant conçue pour réduire les gains de chaleur et créer un

environnement interne frais, et stable. Le Roshwan<sup>7</sup> par exemple a agi en tant que médiateur dans tout cela, régulant la couche limite externe et bloquant la lumière du soleil directe, créant un flux d'air constant et facilitant le refroidissement par évaporation [SAMUELS, 2011].

Soulignons enfin l'importance d'une combinaison judicieuse entre les effets de serre, dus aux vitrages, et l'inertie thermique du bâtiment, autrement dit sa capacité à emmagasiner la chaleur (de façon directe lorsqu'elle est directement issue du rayonnement solaire, ou indirecte lorsqu'elle est issue du phénomène de convection de l'air ambiant) et la restituer avec un déphasage particulier (idéalement, le temps de latence doit être adéquat entre l'emmagasinement en journée et la restitution durant la nuit) (Figure 1-15).

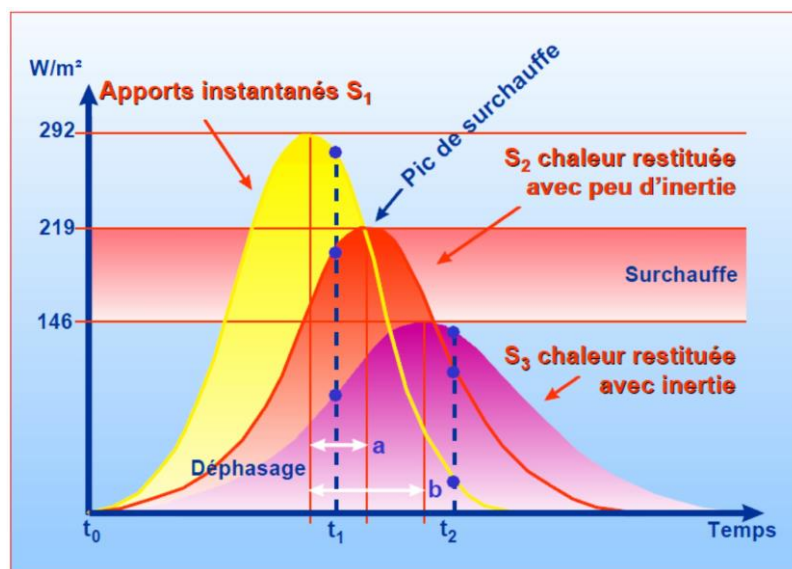


Figure 1-15 : rédaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaire [Liébard et De Herde 2004].

#### 1-7-4-2 Le contrôle de la lumière naturelle

Comme précédemment établi, le contrôle des rayons directs de la lumière est d'une importance cruciale dans l'architecture en milieu désertique. Il y a trois aspects de la lumière naturelle qui ont besoin d'être contrôlés : l'énergie apportée par le gain solaire direct,

<sup>7</sup> Le mot Rowshan ou Rawshan « روشن » relève dans la langue arabe de la catégorie du mot ayant comme racine rowshan et qui signifie un trou ou ouverture dans le mur [ALJOFI, 2005]. Il s'agit d'une structure faite en bois, parsemée d'unités décoratives avec des formes géométriques ou végétales sculptées ou évidées ou sous formes de garnitures. Nous allons le détailler dans le troisième chapitre.

l'éclairage naturel dans l'espace intérieur et enfin les qualités visuelles de la lumière, tel que l'éblouissement. Chacun de ces aspects est contrôlé par la façade et ses éléments, ce qui est une solution efficace à ces problèmes étant donné qu'elle est capable de contrôler exactement ce type de lumière pénétrant dans le bâtiment. La lumière est passée de quelque chose de rude et non-désirée à une fonction hautement désirée dans l'espace intérieur [KOCH, 2002].

#### 1-7-4-3 Régulation du débit de l'air

Le mouvement de l'air augmente le taux de perte de chaleur au niveau des façades si celui-ci est significativement plus frais que ces dernières. Donc une douce brise peut fournir un refroidissement non négligeable. Pour cette raison, il est important que les bâtiments du désert aient un flux d'air interne constant, et régulier. La disposition des pièces traditionnellement prévues afin d'être interconnectées pour assurer une ventilation croisée, avec le moucharabieh dans les façades et « *Badgir* » (Figure 1-16) sur les toits de construction, propose ainsi de grandes ouvertures tout en limitant l'accès de la lumière directe. Que l'air soit entraîné par la température ou la différence de pression, le débit de l'air est défini par la taille et la porosité du moucharabieh, les paramètres qui ont une incidence directe sur le niveau de confort de l'espace intérieur.

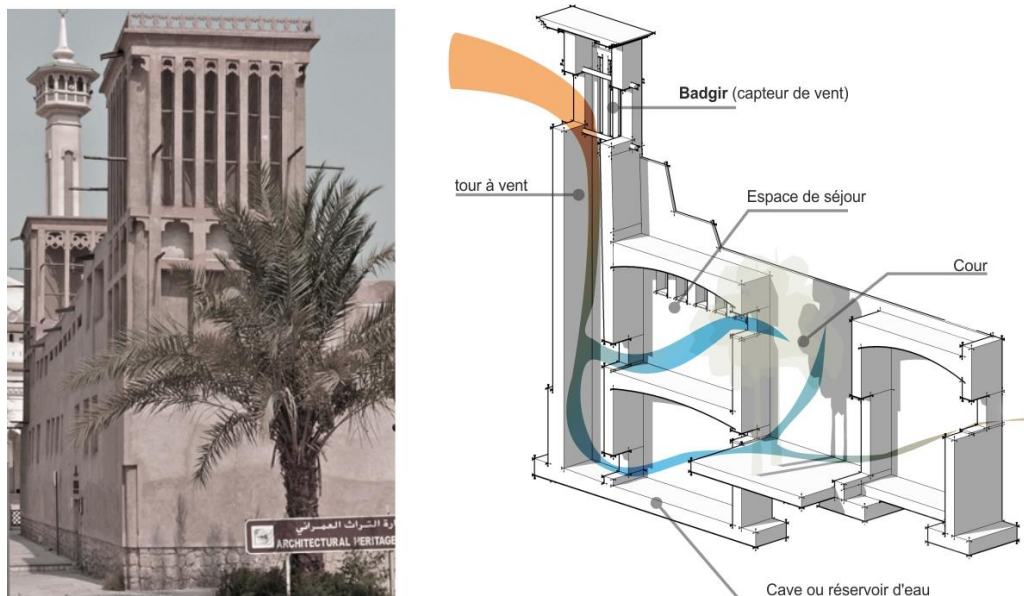


Figure 1-16 : à gauche une photo d'un badgir à Dubai ; à droite une coupe explicative du fonctionnement de ces tours à vent. L'air arrivant de la tour à l'intérieur de l'habitation en passe parfois par un réservoir d'eau venant refroidir l'air par évaporation ; par l'auteur.

#### 1-7-4-4 Le contrôle de l'humidité

Dans les climats extrêmes désertiques, l'humidité peut descendre en dessous de 20%. Une humidité aussi faible est extrêmement inconfortable, notamment parce que notre peau est déshydratée et notre corps perd de grandes quantités d'humidité. Par ailleurs, si l'humidité est trop élevée, cela limite la capacité du corps à perdre de la chaleur par la transpiration. Les niveaux d'humidité recommandés pour le confort sont généralement indiqués entre 30 et 80%. Afin d'être efficace pour être refroidi par toute brise qui souffle, l'espace doit voir sa température diminuée et l'humidité relative augmentée. Le moucharabieh, étant le principal point d'admission d'air de l'immeuble, est en mesure de faciliter ce refroidissement [BRIGGS, 2010].

Lorsque les jarres d'argile poreuses, aussi connues sous le nom de « *Sharbah* » ont été placées en face du moucharabieh (Figure 1-17), l'air se refroidit en laissant s'évaporer de petites quantités d'eau à partir de la surface des pots, un processus connu comme le refroidissement par évaporation.

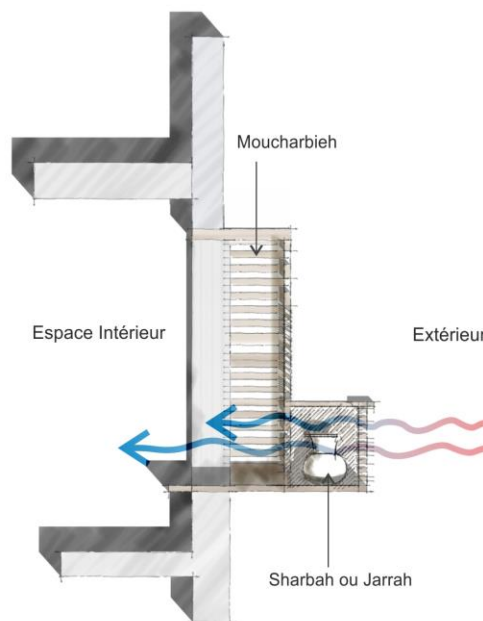


Figure 1-17 : coupe dans le mur et moucharabieh, un pot d'eau en argile poreux utilisé pour refroidir l'air qui passe à travers le moucharabieh et dans l'espace intérieur ; par l'auteur.

Cette chaleur latente d'évaporation doit être fournie par la surface humide, qui perd ainsi de la chaleur ou bien est refroidi. Ce processus est appelé le refroidissement adiabatique, car il n'implique pas un transfert de chaleur vers ou à partir de l'air participant au processus. Par

conséquent, l'air est refroidi en se dilatant et se chauffe en se contractant. Et la température, la pression et l'humidité relative de l'air varient sans modifier la quantité de chaleur totale [FATHY, 1986]. Essentiellement, cela signifie que la diminution de la température de l'air corrèle avec l'augmentation de l'humidité de l'air. Si ce processus est prévu dans ce sens, il peut en effet considérablement refroidir l'air qui entre dans la pièce et le rendre beaucoup plus confortable. Le moucharabieh facilite ce processus en contrôlant la direction et la vitesse du flux de l'air [FATHY, 1986].

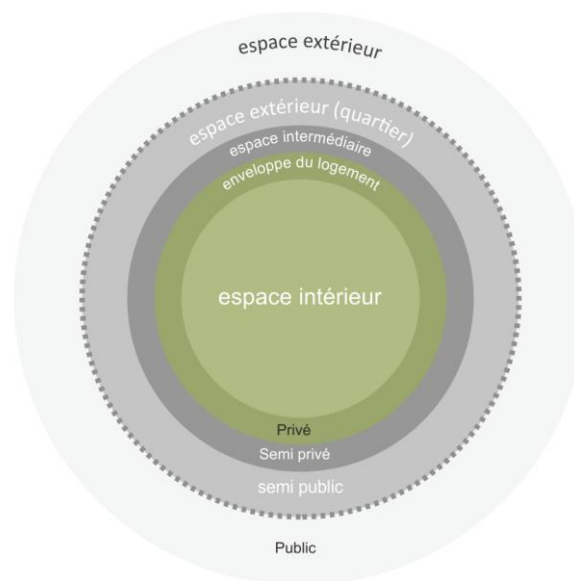
SAMUELS [SAMUELS, 2011] a montré que le village de Baris en Egypte, conçu par Hassan Fathy qui n'a utilisé rien d'autre que des méthodes traditionnelles de conception et de construction, est particulièrement bien adapté au climat. La manière avec laquelle il a refroidi les bâtiments consiste à utiliser des dispositifs de refroidissement par évaporation à l'entrée d'air de chaque chambre. Il a été dit de ces bâtiments que bien que la température puisse atteindre 48°C à l'extérieur, il ferait assez frais à l'intérieur pour que les gens frissonnent. C'est cette capacité de refroidissement qui rend les techniques de refroidissement par évaporation si vitales pour l'architecture du désert.

Au-delà du concept offert par la présence de moucharabieh, nous pourrions définir la capacité de ventilation d'un bâtiment par la porosité de ses façades essentiellement. Ainsi, suivant le climat auquel l'habitat, et donc l'habitant, est soumis, il sera nécessaire de calibrer le taux de porosité d'une paroi : relativement faible pour un climat désertique ou méditerranéen, mais bien plus conséquente pour un climat chaud et plus humide.

## 1-8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la notion d'habitat et ce qu'il représente comme élément fondamental dans la vie des habitants. Le logement est la principale source de protection contre un certain nombre de facteurs extérieurs qui ont un impact sur le confort des occupants. L'habitat est considéré comme une seconde peau protectrice après l'épiderme humain. On peut ainsi affirmer que cette couche protectrice est celle de l'enveloppe du bâtiment, et si l'on suppose que le bâtiment est sous forme de cube, l'enveloppe se compose alors de six surfaces qui interagissent avec l'environnement externe dont quatre représentent les façades du bâtiment, ce qui montre l'importance de cet élément et de son impact direct à l'intérieur des espaces vides (Figure 1-18).

Nous avons également expliqué la relation existante entre les besoins humains, tels que décrites par Maslow, et l'impact de la hiérarchisation de ces besoins sur l'habitat. On peut en outre affirmer que ces besoins semblent tous chercher à satisfaire le confort de l'individu. Nous pouvons ainsi relever l'existence d'une corrélation directe entre ces besoins et le confort en ce sens qu'à mesure que les critères ou les normes du confort de l'individu augmentent, les besoins de celui-ci augmenteront également. La nature humaine est telle que rien ne peut prévoir ou fixer un seuil quant à ces besoins. C'est cette nature même de l'homme qui est derrière sa créativité et les inventions qui ont été réalisées dans les différents domaines.



**Figure 1-18 : représentative de la relation de l'habitat avec l'espace externe et de l'interaction qui s'opère à travers l'enveloppe du logement. L'intimité du cadre de l'habitat est déterminée par le cadre social et la culture ; par l'auteur.**

Nous avons, ensuite, étudié la relation entre l'homme et son environnement et qui subit l'influence des dimensions culturelle et temporelle. Nous constatons qu'il existe une corrélation directe entre le temps, les cultures et les besoins humains.

Nous avons, ensuite, étudié les facteurs qui ont une influence sur l'espace intérieur de l'habitation. Nous avons pu constater qu'il s'agit d'un complexe de relations assez compliquées entre un ensemble de facteurs climatiques, sociaux et culturels qui visent tous à favoriser le confort des habitants à la fois physique, psychologique, et en particulier à toutes les personnes qui peuvent être affectées différemment par ces facteurs selon

l'environnement et la façon avec laquelle ces habitants acceptent leurs environnements de vie.

Nous avons ensuite fourni quelques exemples de l'architecture vernaculaire dans la région arabe et de leur interaction avec l'environnement climatique, et dont nous pouvons affirmer qu'il s'agit selon les chercheurs d'une architecture qui «*s'est adaptée à son environnement*». Nous expliquerons cette adaptabilité plus en détail dans la troisième partie.

## Chapitre 2

---

### L'HABITAT ET LA DURABILITÉ

*"This is a time of crises, This is also a time for solutions" Joan Clos*

**"C'est une époque de crise, C'est également une époque de solutions"**

UNITED NATIONS EXECUTIVE DIRECTOR, UN-HABITAT **2012**



## 2-1 Introduction

Ce chapitre portera sur l'étude du concept de « *développement* » et les rapports entre celui-ci et la durabilité à travers une analyse comparative. En remontant à l'origine de ces mots, et par l'analyse de leurs différentes acceptions, nous découvrirons comment ces deux notions ont subi une évolution à travers l'histoire et comment on est parvenu à la définition du concept de durabilité architecturale. Nous exposerons également les critères ou les indicateurs permettant d'évaluer l'efficacité des constructions et leurs centres d'intérêt.

Dans ce chapitre, l'accent sera mis sur l'évolution de la théorie ou du concept de durabilité, voire des deux, et sur son impact qui varie d'un domaine à l'autre. Nous procéderons à l'examen des différentes approches afin qu'on puisse analyser les différents aspects et saisir les nuances pour pouvoir être, ainsi, en mesure d'aborder la question de façon efficace eut égard à notre sphère de compétence et en se rapportant à l'objet de notre recherche.

Nous procéderons ensuite à un exposé des différentes dimensions de la durabilité et la détermination de leur impact sur l'environnement architectural. Ce faisant, l'exposé des différentes approches de la durabilité nous permettra de saisir les rapports avec le concept d'architecture durable perçu du point de vue de la ville arabe, traité de façon plus importante dans les chapitres qui vont suivre.

Le développement durable vise à l'amélioration des moyens de gestion de l'environnement et à poser des limites quant à la consommation des ressources naturelles pour assurer la survie des générations futures. Beaucoup de chercheurs ont mis l'accent sur le rapport entre la pauvreté et l'environnement. En effet, dans les pays sous-développés, nous constatons que les personnes pauvres comptent sur les ressources naturelles pour assurer leurs survies. C'est pourquoi ils sont les plus touchés en cas de facteurs mettant en péril la nature et la notion durabilité.

Savoir si l'homme peut continuer, de façon générale, à ignorer son environnement par l'adoption de modèles économiques sauvages qui détruisent la relation à son milieu naturel et urbain, spécialement à travers une consommation excessive et abusive des énergies non renouvelables comme illustré précédemment en introduction, est une question très perturbante et l'évidence de la réponse l'est bien plus.

Le concept de développement durable a été accueilli positivement au niveau des Etats. Mais il s'est avéré assez compliqué ou très difficile de traduire cette idée sur le plan pratique : fixation des objectifs à atteindre et mise en place de programmes et de stratégies politiques d'interventions [CHASSANDE, 2002]. La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement traduit un effort de grande envergure afin de parvenir à un terrain d'entente et à la conciliation des intérêts contradictoires des différents acteurs pour pouvoir s'engager dans un processus de changement nécessaire au développement durable.

Le développement est un des rares concepts qui englobe à la fois une dimension théorique et une autre pratique, faisant ainsi appel à une vision philosophique et métaphysique ainsi qu'aux objectifs sociétaux en termes de développement [BOUTAUD, 2005].

Le développement peut être parfaitement défini comme étant l'utilisation de toutes les ressources et moyens disponibles de toutes sortes à la fois naturels, économiques et sociaux pour assurer à l'homme une vie agréable et confortable au sein du milieu dans lequel il vit.

Selon l'Organisation des Nations Unies, le développement c'est « *l'ensemble de moyens et de méthodes utilisées dans le but d'unifier les efforts de la population et des autorités publiques visant à améliorer le niveau économique, social et culturel des sociétés et le développement comprend la croissance et le changement à la fois qualitatif et quantitatif qui doivent être opérés nécessairement dans tous les secteurs sociaux, culturels et économiques* »<sup>8</sup>.

## 2-2 Objectifs et moyens de développement

Chaque pays a des priorités différentes en termes de politiques de développement. Cependant, avant de procéder à un examen comparatif de ces différentes stratégies et logiques de développement, il convient, préalablement, de se faire sa propre idée sur ce qu'est réellement le développement pour soi, et ce que celui-ci est supposé accomplir. Ainsi dégagés, les indicateurs ou indices d'évaluation du développement pourront être utilisés pour juger du progrès assez relatif des pays en développement.

---

<sup>8</sup> Documents de l'ONU, en faveur du développement durable 1985

L'objectif poursuivi consiste-il tout simplement à faire croître la richesse nationale, ou bien est-il question d'autre chose de beaucoup plus subtil tel que : améliorer le bien-être de la majorité de la population ou assurer la liberté des gens ou accroître leur sécurité économique? De récents documents des Nations Unies mettent l'accent sur le «*développement humain*», pouvant être évalué à travers un certain nombre d'indicateurs et d'indices dont notamment l'espérance de vie, le taux d'alphabétisation des adultes, l'accès aux trois niveaux d'enseignement, ainsi que le revenu moyen des personnes qui est une condition nécessaire de leur liberté de choix.

Dans un sens plus large, la notion de développement humain intègre tous les aspects du bien-être des individus, partant de leur état de santé jusqu'à leur liberté économique et politique. Selon le Rapport sur le développement humain intitulé (Programme de développement humain) publié en 1996 dans le cadre du Programme des Nations Unies, le développement humain est une fin, le développement économique est un moyen.

Certes, la croissance économique en faisant croître la richesse totale d'une nation, améliore également sa capacité à réduire la pauvreté et à résoudre d'autres problèmes sociaux. Toutefois, l'histoire nous offre un certain nombre d'exemples à travers lesquels nous pouvons conclure que la croissance économique n'est pas toujours suivie par une évolution similaire en termes de développement humain.

Contrairement au schéma classique, la croissance a, en effet, été obtenue au prix d'une plus grande inégalité avec un taux de chômage très élevé, un affaiblissement de la démocratie, une perte de l'identité culturelle ou une consommation très excessive et abusive des ressources indispensables pour les générations futures. A mesure que le rapport entre la croissance économique et les questions sociales et environnementales est davantage saisi, les experts, y compris des économistes, s'accordent à dire que ce genre de croissance est inévitablement insoutenable ou que l'on ne peut pas continuer sur cette même ligne pendant longtemps.

Pour être durable, la croissance économique doit être constamment nourrie par les fruits du développement humain tels que l'amélioration des connaissances et des compétences des travailleurs ainsi que des possibilités ou opportunités de leur utilisation efficace : des emplois plus nombreux et de meilleure qualité, de meilleures conditions pour les nouvelles

entreprises pour pouvoir se développer, et plus de démocratie sur tous les niveaux du processus décisionnel.

A l'opposé, selon le Rapport sur le développement humain 1996, un développement humain lent peut mettre un terme à une croissance économique aussi rapide soit-elle. Au cours de la période comprise entre 1960 à 1992, aucun pays n'a réussi à passer d'un développement déséquilibré avec une croissance humaine lente et une croissance économique rapide à un cercle vertueux dans lequel le développement humain et la croissance peuvent devenir mutuellement renforcés. Le développement humain lent a toujours été suivi par une croissance économique plus lente, ce schéma de croissance a été labélisé impasse.

Le développement urbain présente une partie principale de la prospérité globale de la ville, qui signifie le développement des zones non rurales et qui comprend le développement urbain, le logement, l'environnement social, le secteur des services ainsi que l'emploi. On ne peut étudier séparément le développement urbain et les aspects économiques.

## **2-3 Des facteurs alarmants**

Comme exposé dans l'introduction de cette recherche, on peut citer à titre illustratif le fait que les émissions moyennes de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atteignent 6,2 tonnes par habitant en France et que ce chiffre est multiplié en deux voire plus en Arabie Saoudite où on enregistre 15 tonnes de CO<sub>2</sub> par habitant, sachant que l'Arabie saoudite ne fait pas partie des grands pays industrialisés et que la plupart de ses exportations sont constituées de produits en énergie non renouvelables (pétrole), ce qui signifie que la portion énorme de la pollution provient de la consommation personnelle des habitants.

Le réchauffement climatique constaté depuis quelques décennies est sans commune mesure avec le rythme toujours très lent des conditions climatiques et nous menace à l'avenir en l'absence de toute action qui se fait de plus en plus pressante. Le thermomètre mondial devrait enregistrer une hausse d'au moins 1,4°C au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle et la probabilité que cette augmentation soit supérieure à 5°C dépasse, aujourd'hui, les cinquante pour cent. L'impact négatif de ce réchauffement est considérable : inondations, sécheresses, vagues de chaleur, désertifications, tempêtes, fonte de glaciers et de la banquise, typhons, montée du

niveau des mers (impact sur la biodiversité)<sup>9</sup>(figure2-1). Le réchauffement climatique sera également lourd de conséquences sur le plan humain. En effet, un sixième de la population planétaire serait directement affecté par des problèmes de sécheresse ou d'inondations. L'élévation du niveau de la mer exigerait le déplacement de millions de personnes d'ici 2050. Le continent africain verra ses capacités de production alimentaire réduites en raison du manque d'eau de même que 15 à 40 des écosystèmes sont menacés de disparition [CHARLOT ET OUTREQUIN, 2009].

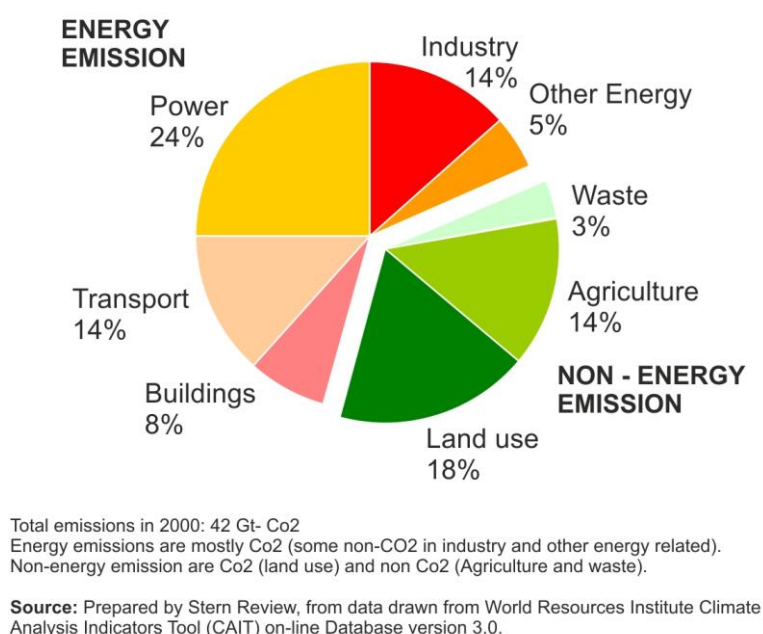


Figure 2-1 : Émissions de GES en 2000 ; par [STERN Summary Review, 2006].

Ces phénomènes ont, également, un énorme coût économique : une hausse des températures de 5 à 6°C à l'horizon 2100 devrait entrainer une récession majeure avec une diminution du produit intérieur brut (PIB) mondial de l'ordre de 5 à 10%, ce qui va davantage accentuer les écarts entre les pays. Le temps presse et il faut agir pour inverser cette tendance à travers la réduction principalement des émissions de CO2 qui représentent le principal gaz à effet de serre (76%). La communauté internationale s'est fixé comme objectif de ne pas dépasser le seuil de 2°C. Pour y parvenir, le rapport Stern sur l'économie du

<sup>9</sup> Rapport Stern, The economics of Climate Change, Octobre 2006 ( BAU Scenario, page iv).

changement climatique conclut à la nécessité d'affecter au moins 1% du PIB<sup>10</sup> annuel à la lutte contre le changement climatique jusqu'en 2050 [*CHARLOT ET OUTREQUIN, 2009*].

La plupart des activités apparues durant la période de la révolution industrielle, comprise entre le XVIII<sup>e</sup> siècle et le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle, ont entraîné des changements dans les domaines économiques, politiques et sociaux et conduit à l'exploitation et à la consommation de toutes les ressources. Cela a abouti à l'épuisement des ressources, (renouvelables et non renouvelables) et à l'émergence de la pollution environnementale après une série d'événements successifs et à de graves conséquences et résultats, dont la consommation inéquitable des ressources renouvelables. Les constats de cette situation ont été à l'origine de l'apparition de la notion de développement durable ainsi qu'à l'émergence de nouvelles idées et du changement des mentalités autour du processus de consommation effrénée qui pose des limites et fixe les responsabilités des principaux acteurs de la société et l'un des principaux facteurs de son identité.

C'est la société qui bâtit l'économie et l'environnement, c'est le cadre général qui en même temps affecte et est affecté par les activités économiques. Les comportements des individus dérivent du milieu qui est ainsi responsable des attitudes comportementales de ses membres, et qui affectent l'état de leur santé ainsi que leurs différentes activités. Par conséquent, la réussite de n'importe quel programme de développement dépend du degré de compatibilité et d'harmonisation entre ces trois éléments : assurer la croissance économique, répondre aux besoins des membres de la communauté et assurer la sécurité et l'intégrité de l'environnement.

Le concept de développement a connu une évolution en attribuant, désormais, de l'importance aux aspects sociaux et humanitaires alors qu'auparavant il mettait davantage l'accent sur les aspects économiques. Ainsi, cette idée a évolué dans la sphère politique, culturelle, sociale et environnementale (Figure 2-2) en considérant que l'homme est à la fois un moyen et une fin pour le développement.

Ce concept met en évidence l'évolution, le progrès ou le changement radical qui se produit dans un pays en particulier dans les différents domaines économiques, sociaux, politiques et culturels. Il vise aussi bien le changement radical de la société d'une mauvaise situation à

---

<sup>10</sup> PIB : produit intérieur brut.

une qui soit meilleure ainsi que l'assurance de la pérennité de l'environnement naturel permettant à l'homme de vivre plus longtemps dans de bonnes conditions de santé y compris pour les générations futures, ce qui est caractéristique d'un développement humain durable [AL-FIKI, 2005].

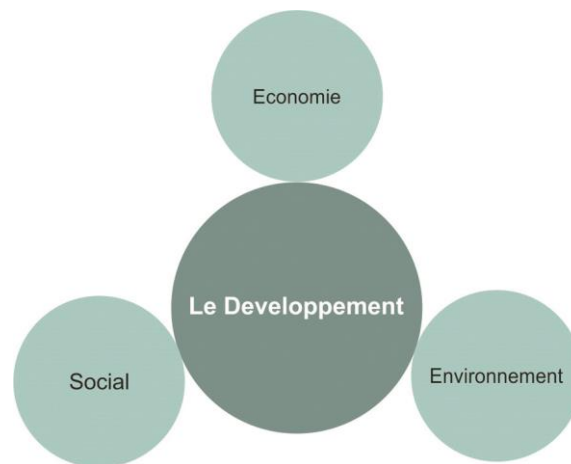


Figure 2-2 : les trois piliers principaux du développement durable

En ce qui concerne le développement urbanistique, celui-ci traite des aspects matériels construits ou fabriqués dans l'environnement sociétal grâce à des moyens et outils qui assurent le bien-être de l'homme en lui procurant un abri, un travail, les services et les infrastructures ainsi que les critères du confort.

La construction et l'aménagement urbanistique rentrent dans le cadre des tâches confiées à l'architecte et à l'urbaniste. Examinés sous cet angle, ils sont considérés comme des acteurs incontournables dans le développement urbanistique global et dans la mise en place de ses normes et réglementations.

## 2-4 Le développement global

Le processus de développement global est un des processus les plus importants qui l'explique de façon complète à travers une vision d'ensemble et assez claire de toutes les dimensions économiques, sociales et urbanistiques. Nombreux sont les chercheurs et les intervenants y compris les travailleurs dans le secteur du développement qui ont souligné cet aspect à travers la définition du développement global qui, selon DESA [DEPARTEMENT DES AFFAIRES ECONOMIQUES ET SOCIALES. NU, 2007], « poursuit une fin générale et complète d'un

*processus dynamique qui se produit dans la société et qui se manifeste à travers une série de changements et mutations structurels et fonctionnels qui intègrent l'ensemble des composantes de la société. Ce processus repose sur le contrôle quantitatif et qualitatif des ressources matérielles et humaines disponibles afin d'atteindre une utilisation optimale, une durée la plus courte possible dans le but d'assurer le bien-être et le confort économique et sociale tels que revendiqués et ce pour la majorité des membres de la société ».*

Un des auteurs [ANGARI, 1989], a défini le développement global comme étant « *le développement de la société pour le mieux, dans le but d'élever le niveau de vie de la société dans son ensemble, au niveau des villes et des campagnes, économiquement, socialement et culturellement* ». Pour d'autres [FEKI, 2005], il s'agit de « *système ou outil permettant de limiter les changements sociaux, économiques, culturels, urbanistiques et politiques au niveau de la construction, et de remplacer ce qui existe par les éléments fixés dans le cadre des objectifs ainsi poursuivis sans sacrifier l'identité locale et tout en évitant une collision avec l'environnement* ».

A travers les définitions d'un certain nombre de chercheurs dans le domaine du développement, nous constatons qu'il y a un lien permanent entre l'architecture et le développement, et que ces définitions s'étendent pour aboutir au sujet de la prospérité urbaine au niveau des villes qui a été, d'ailleurs, posé par l'ONU. C'est une des thématiques récentes qui abordent, également, le développement et l'élaboration des villes et qui fut publié en 2012.

## **2-5 La roue de la prospérité urbaine**

Les villes apparaissent dans les endroits où l'homme parvient à satisfaire ses besoins élémentaires et qui disposent de ressources naturelles communes et de produits essentiels à la vie humaine à la fois en abondance ou du moins en quantité suffisante et dont la jouissance est dans l'ordre du possible. Les villes sont aussi là où les ambitions, les aspirations et les autres aspects immatériels de la vie peuvent être réalisés, procurant ainsi à l'homme un sentiment de satisfaction, de joie faisant croître l'espoir de bien être individuel et collectif. Cependant, en cas d'absence de prospérité ou lorsque celle-ci n'est accessible qu'à un cercle restreint d'individus ou à une zone précise de la ville, ou lorsqu'elle est utilisée à des fins particulières, servant comme justification aux bénéfices financiers d'une minorité



au détriment de la majorité, la ville devient le théâtre de revendications et de lutte pour le droit au partage des richesses.

La prospérité, telle que définie par l'ONU-Habitat, « *est une construction sociale qui se matérialise dans le domaine des actions humaines. Elle est fondée délibérément et consciencieusement sur les conditions objectives qui prévalent dans une ville à tout moment, partout où qu'elles se trouvent et aussi grande ou petite soit-elle. Il s'agit d'une notion plus large et plus expansive ou étendue qui a un rapport avec le développement harmonieux et équilibré dans un environnement d'équité et de justice* »<sup>11</sup>.

Comme décrit ci-dessus, la prospérité prend forme dans toutes les fonctions urbaines en englobant les cinq grandes catégories telles que définies dans la (Figure 2-3) . Partagé, le développement équilibré est un élément crucial de la prospérité et aucune des dimensions ne doit prévaloir sur les autres. Elles doivent toutes être conservées plus ou moins (égales) - pour un tour en douceur sur le chemin de la prospérité. En pratique, évidemment, rares sont les villes où les cinq dimensions se trouvent égales à n'importe quel moment, et c'est dans ce cas précis où l'on est contraint de faire appel et de mettre en place des politiques et des stratégies d'interventions, comme suggéré, d'ailleurs, graphiquement par le profil spécifique de la ville (l'indice de la prospérité de la ville).

Par exemple, l'infrastructure peut être bien développée, mais inaccessible à une grande partie de la population, mettant ainsi en péril la notion d'équité. De même, et assez fréquemment d'ailleurs, une ville peut être économiquement solide offrant ainsi plus et de meilleures opportunités en terme d'emploi, mais l'aspect environnemental et naturel est gravement négligé.

Tant que les conditions socio-économiques ne cessent de changer au niveau local et à plus grande échelle, il y aura toujours un effet sur une, voire plusieurs, des cinq dimensions de la prospérité, et les interventions politiques vont devoir rétablir l'équilibre. A cette occasion, les autorités urbaines constateront les différents liens et connexions qui existent entre ces cinq dimensions et qui peuvent être également assez positifs.

---

<sup>11</sup>UN Habitat 2012- Prosperity of Cities

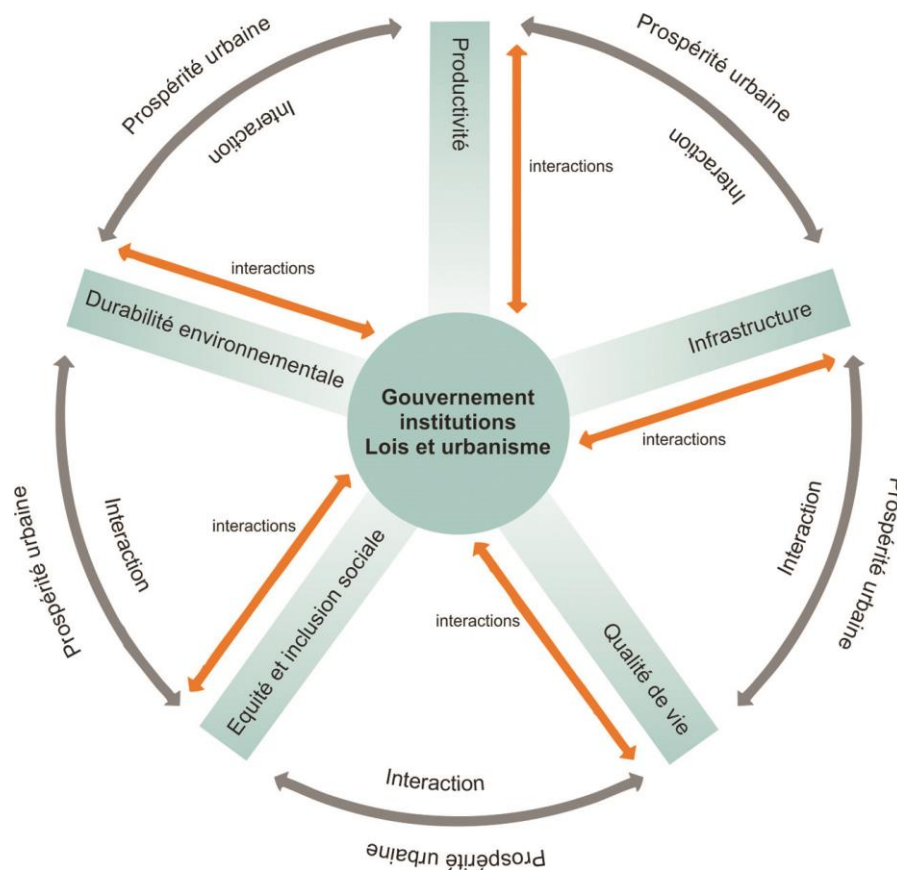


Figure 2-3 : La roue de la prospérité urbaine; par l'auteur d'après [UN HABITAT 2012, PROSPERITY OF CITIES].

Le rapport nous montre un exemple : l'approvisionnement en eau et l'assainissement dans les villes dans le cadre d'arrangements à l'amiable permettront d'améliorer à la fois l'équité et la qualité de vie, et même l'environnement. Ce constat met l'accent sur les connexions et les liens naturels ou spontanés entre les cinq dimensions tout le long du bord extérieur de la roue. Ceux-ci peuvent également être renforcés avec un effet multiplicateur grâce à des interventions délibérées et ciblées à partir du centre de la roue, par les autorités du pouvoir combinées au travail dans la ville. Par exemple, la construction d'une école et d'un marché couvert à proximité d'un quartier pauvre est susceptible d'avoir des effets multiplicateurs sur les cinq dimensions de la prospérité partagée.

## 2-6 Le concept du développement durable

Le développement durable est une conception développée à l'origine pour atteindre un objectif macroscopique qui est en relation avec la notion de développement stricto sensu autrement dit de progrès et d'amélioration et ce dans sa double dimension qualitative et

quantitative. Le développement durable est, selon Gunnar Myrdal, un économiste suédois, «*le mouvement vers le haut du système Social dans son entier; mouvement où l'on observe une relation de causalité circulaire entre conditions et changements accompagnée d'effets cumulatifs*» [CHARLOT ET OUTREQUIN, 2009].

La durabilité couvre presque toutes les choses qui nous entourent et auxquelles nous sommes confrontés. Cette notion vise à prendre en compte les aspects sociaux (les gens), environnementaux (les lieux et les espaces) ainsi que les aspects et les problématiques financières (l'économie). Le développement durable en tant que tel pourrait être défini comme étant la capacité ou l'aptitude de quelque chose à être maintenu ou à se maintenir elle-même. Il est question de se servir uniquement de ce dont nous avons besoin pour survivre aujourd'hui sans compromettre la possibilité pour les générations futures à pouvoir répondre à leurs besoins. Par conséquent, ce concept couvre trois éléments dans notre vie quotidienne [MOLNAR ET MORGAN, 2001].

La durabilité est, également, définie comme étant l'utilisation harmonieuse des ressources et des potentialités matérielles, naturelles et humaines de façon équilibrée et cohérente de la nature de sorte que l'on puisse profiter de ce qui est mis à notre disposition comme ressources naturelles.

Ces richesses naturelles ne sont pas notre propriété absolue, elles appartiennent également aux générations futures. Il est de notre responsabilité et de notre devoir d'assurer la continuité et la pérennité de la vie sur terre de façon efficace à la fois sur le plan écologique, économique, social et urbain sans abus ni gaspillage des ressources en notre possession [STRANGE AND BAYLEY, 2008].

En 1983, l'ONU a mis en place la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (C.M.E.D.), composée de représentants de pays aussi bien développés qu'en voie de développement. Cette commission a été créée pour traiter les problématiques au sujet des préoccupations et inquiétudes qui se font de plus en plus sentir à propos de la «*détérioration accélérée de l'environnement humain et des ressources naturelles ainsi que les conséquences de cette détérioration pour le développement économique et social* ».

Quatre ans plus tard, le groupe a publié le Rapport Brundtland officiellement intitulé «*Notre avenir à tous (Our Common Future)* » qui présente un diagnostic complet et assez alarmant

de l'état de l'environnement. Le rapport a popularisé la définition du développement durable la plus communément admise : « *Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs* » [CMED, 1987].

## **2-6-1 Le développement durable et l'évolution de ses concepts**

Le développement durable est apparu au cours des dernières décennies. Son apparition est étroitement liée au changement environnemental, une des préoccupations majeures de la population. Au début des années soixante-dix, un rapport a été rendu en 1972 au sujet des limites de la croissance en raison de la diminution probable des ressources non renouvelables.

En 1980, on a commencé à définir le concept de développement durable comme étant un développement économique respectueux de l'environnement de même pour le concept de renouvellement des ressources naturelles et leur utilisation rationnelle de façon à préserver la continuité des matières premières, le développement social et l'évolution technique de l'homme.

Le concept de développement durable a été développé d'abord dans les pays industrialisés, en 1980, date à laquelle il a été utilisé officiellement pour la première fois comme réponse à l'épuisement massif des ressources. A l'origine, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (U.I.C.N.) a lancé, aux États-Unis, sa « *Stratégie mondiale de la conservation : la conservation des ressources vivantes au service du développement durable* » [CHASSANDE, 2002].

En 1983, l'Organisation des Nations Unies a mis en place une Commission chargée de la Protection de l'Environnement et son Développement (C.M.E.D.) afin d'aborder les problèmes environnementaux résultant de l'utilisation des ressources naturelles et leur exploitation sur tout le globe terrestre.

Les engagements internationaux de Rio ont marqué un tournant décisif pour le concept de développement durable qui désormais connaît un essor planétaire et constitue depuis une référence incontournable reprise dans toutes les conférences internationales organisées par l'ONU.

Toutefois, le bilan dressé par l'Assemblée générale des Nations Unies en 1997 fait état d'un d'échec. En effet, les engagements pris par les états en matière d'aide publique au développement n'ont pas été respectés. Le bilan fait également état de l'échec des efforts engagées afin parvenir à la conclusion d'un accord ou d'une convention au sujet de la protection des forêts. Enfin s'agissant du réchauffement climatique, les États-Unis ont refusé de signer des engagements sur la limitation des émissions de gaz à effet de serre [CHASSANDE, 2002].

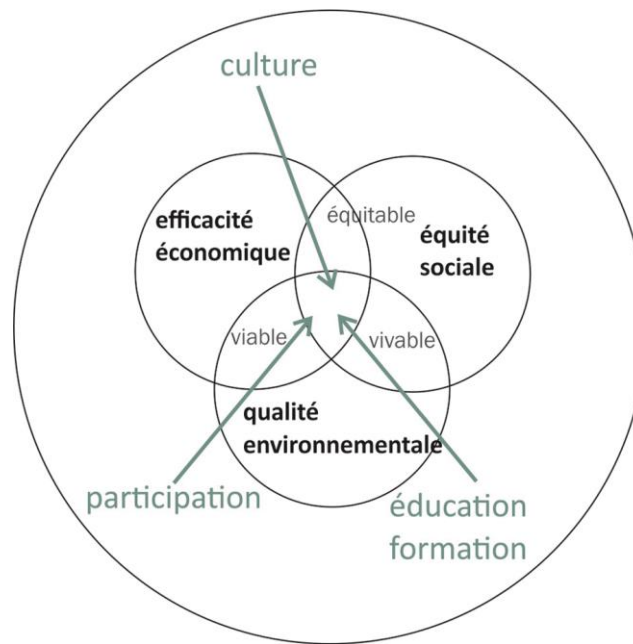
Après cette conférence, deux autres se sont tenues la même année, une à New York (sommet de la terre 2) et l'autre à Kyoto, au Japon. En septembre 2002, un quatrième sommet de la Terre s'est tenu à Johannesburg, en Afrique du Sud, sommet qui est appelé aussi (Sommet Mondial du Développement durable) [ADEEB, 2002]. Ainsi, le concept de durabilité appelle par définition et d'un point de vue méthodologique de cesser les modes actuels de consommation et de faire prévaloir l'esprit de durabilité. On constate que pendant la période actuelle les efforts du monde entier se concentrent sur la mise en place d'un développement et d'une croissance durable et sur la sensibilisation de toutes les personnes et de tous les acteurs de la vie inconscients de la valeur de l'environnement et de l'espace naturel, et nous citons à leur tête les grands pays industrialisés. Selon les études qui ont été menées et les rapports qui ont été rendus par les Nations Unies, l'application du développement durable est très coûteuse en raison de son impact sur la croissance économique, politique et sociale [ABU ALI, 2011].

## **2-6-2 Les stratégies et les dimensions du développement durable:**

CHARLOT et OUTREQUIN [CHARLOT ET OUTREQUIN, 2009] font partie de ces chercheurs qui ont pu imaginer un système s'inscrivant dans un processus de respect et de mise en place d'une politique de développement durable.

Pour que le développement durable ait une chance de se mettre en place, il est nécessaire de prendre conscience de ce que toute transformation dans toute société repose sur trois piliers fondamentaux à savoir l'éducation, la culture ainsi que la participation de l'ensemble des acteurs et parties prenantes à ce processus, qu'il s'agissent des habitants, des salariés, d'entrepreneurs, de nos élus, des techniciens et bien d'autres. Chacun de ces acteurs agissant dans sa propre sphère de compétence à l'intérieur de son périmètre d'action.

Le schéma traditionnel à trois dimensions (l'économie, l'environnement et le social) représente les trois piliers sur lesquels repose le concept de développement durable. Ainsi, à l'instar de ce schéma, la mise en place de politiques concrètes de développement durable sur le plan local fondée sur les trois piliers sus mentionnés, permet réellement de s'interroger sur les modes de consommation, d'échange, d'épargne et d'action entre les hommes. Il s'agit, pour rappel, des trois composantes interdépendantes que sont l'éducation, la culture et la participation (Figure 2-4).



**Figure 2-4 : les piliers d'une stratégie de développement durable. La culture et la société, déterminée ici par la participation, l'éducation et la formation, sont les acteurs principaux de ces trois piliers ; [CHARLOT ET OUTREQUIN, 2009].**

Des efforts doivent être engagés pour la protection de l'environnement et de ses ressources naturelles. Le temps presse et il est plus que jamais nécessaire de prendre conscience que notre planète se détériore. Dans nos modes de consommation de ces ressources, nous devons surtout garder à l'esprit qu'elles sont limitées et qu'un jour elles finiront toutes par s'épuiser, les exemples, d'ailleurs, pour étayer ces propos ne manquent pas. Nous devons donc changer nos modes de consommation. Cela passe, tout d'abord, par l'éducation et la prise de conscience de l'état critique de notre planète d'une part, et du droit qu'ont les générations futures, l'homme de demain, à hériter d'une planète et à disposer de ses ressources pour préserver sa survie et satisfaire ses besoins, d'autre part. L'homme d'aujourd'hui se doit de respecter le droit de l'homme de demain.

Les efforts doivent dès lors porter sur les différents aspects du processus de consommation. Ainsi, nous devons consommer des produits plus respectueux de l'environnement utilisant notamment moins de ressources et d'énergie et émettant moins de pollution ou de gaz à effet de serre. Ces produits doivent également être fabriqués selon un processus respectueux de la dignité de la personne humaine.

Toutefois, l'information et la prise de conscience ne doit pas se limiter au consommateur. Les acteurs de production doivent être également mobilisés et associés à ce processus. Dès lors, les politiques publiques ainsi que les projets, notamment urbains, élaborés par les entreprises de biens et de services, les multinationales et les Petites et moyennes entreprises (PME), doivent s'inscrire dans ce processus de changement des modes de consommation et de production pour atteindre un objectif ultime à savoir une croissance et un développement durable.

C'est seulement par la mise en place d'un plan d'action pour une production et une consommation durables, que nous pourrions obtenir des résultats très concrets à travers l'impact que cela peut exercer sur l'ensemble de l'offre allant dans le sens d'une demande de consommation de biens et de services durables respectueux de l'homme et de son environnement. Le rôle des institutions politiques est crucial dans la mise en place de ce processus car, d'une part, leurs actions dans ce sens seront non seulement fortes en terme d'image et de visibilité mais constitueront désormais un modèle de référence aux autres acteurs de la chaîne de consommation ou de production [STRANGE AND BAYLEY, 2008].

Orienter nos modes de consommation et de production vers un développement et une croissance durable en agissant simultanément sur l'offre et sur la demande à travers l'amélioration de l'information de tous les acteurs, mais, également par des actions concrètes comprenant l'adoption de politiques et la mise en place de plans concrets sont d'importants leviers d'actions vers un développement durable.

De ce qui précède, nous constatons qu'il n'y a pas de conception spécifique de la notion de développement durable, mais que toutes les définitions s'accordent sur la poursuite de ce développement, qui comprend deux idées principales à travers lesquelles le développement peut se matérialiser. La première idée est celle de la nécessité de créer une situation qui maintiendra une qualité de vie satisfaisante à toutes les personnes. La seconde est celle des limites de la capacité de l'environnement à répondre aux besoins du présent et à ceux de

l'avenir en fonction du niveau de la technologie et des systèmes sociaux du lieu où nous trouvons les besoins de base tels que la nourriture, l'eau et les vêtements, selon la division de Maslow comme nous l'avons précédemment expliqué dans le premier chapitre.

A partir de ces stratégies et conceptions, on peut affirmer que le développement durable repose sur l'hypothèse selon laquelle les décisions actuelles ne devraient pas réduire la possibilité de maintenir et d'améliorer la qualité de vie dans l'avenir grâce à une bonne gestion des systèmes économiques pour atteindre la rentabilité pour le bien être des peuples.

Pour assurer son succès, tous les efforts doivent se concerter pour parvenir à des réponses et des solutions pluridisciplinaires à mêmes d'assurer la préservation de nos ressources et le maintien des valeurs sûres de notre société.

Les opinions au sujet du développement durable sont diverses et variées et s'étendent des définitions générales à d'autres beaucoup plus spécifiques. Elles soulignent la nécessité de multiplier les bénéfices tirés du développement économique qui est soumis à la préservation des services et à la qualité des ressources naturelles, et d'assurer les opportunités de progrès économique et social dans un cadre adéquat et propice répondant aux besoins de toute la population à travers la capacité des projets de développement sur le plan organisationnel et financier en considérant que tout développement est un développement durable. La protection de l'environnement consiste à ouvrir de nouvelles opportunités de développement.

Nous concluons, également, que le développement durable consiste dans la recherche, la mise en œuvre et l'exécution de stratégies politiques de planifications radicales permettant à la société de réussir dans son interaction avec la nature de manière équilibrée et ce sans fixer de limite temporelle. Il s'agit d'un processus aux aspects divers comprenant à la fois l'environnement naturel, le système économique, la nature de la vie sociale. Sa réussite nécessite un effort concerté de toutes les parties afin de résoudre les problèmes dans l'ensemble des disciplines pour parvenir à assurer la durabilité et la préservation de notre monde.

En outre, le concept de développement durable combine deux dimensions essentielles à savoir le développement en tant que processus de transformation et la durabilité en tant



que dimension temporelle. L'émergence de cette notion est due à la prise de conscience que le processus de développement est à lui seul insuffisant à améliorer le niveau de vie des individus et à leur procurer le sentiment de confort. L'homme est, ainsi, à la fois à la tête des objectifs vers lesquels ce processus tend mais également et parallèlement l'outil dont celui-ci se sert pour parvenir à ses fins.

Si nous prenions en compte toutes ces conceptions et considérations et que nous les mettions en application au sein de l'environnement et ce, de façon progressive au niveau de toutes les composantes de la ville, y compris aux logements, nous constaterions que les dimensions du développement et de la durabilité aboutiraient à procurer le confort dans l'environnement ainsi bâti et à procurer à la personne le sentiment de satisfaction. La figure 2-5 exprime le précepte des milieux architecturaux qui est régi par un schéma en cascade, le confort est un besoin au développement, la satisfaction est un besoin au confort et la durabilité est la limite à ce confort. Il dit trouver un idéal de satisfaction mêlant plusieurs paramètres comme la psychologie, le social, l'économie et les ressources.

Si nous souhaitons procéder à une évaluation de ces dimensions au sein de l'espace architectural, nous devons d'abord fixer les orientations et les indicateurs d'évaluation ou de mesure que nous voulons avoir dans cet environnement.



Figure 2-5 : représentative de la relation des deux dimensions de développement et de durabilité avec le confort dans l'espace architectural ; par l'auteur.

### 2-6-3 Evaluation de la durabilité

Comment peut-on évaluer ou mesurer le développement durable ? en dépit de la propagation de la notion de développement durable, le problème principal est l'urgente nécessité de fixer ou déterminer des indicateurs permettant d'évaluer l'ampleur du progrès réalisé pour atteindre le développement durable.

En effet, comme abordé précédemment le processus de développement durable est un processus composite très complexe, mais en même temps on peut fixer des indicateurs

clairs sur la base de ce que nous voulons mesurer. Ces indicateurs peuvent être appliqués à travers la détermination de leurs différentes dimensions économiques, sociales, environnementales et urbaines.

Les différentes méthodes d'évaluation de la durabilité varient d'une discipline ou spécialité à l'autre mais également en fonction des motivations poussant à la réalisation cette évaluation.

Il est possible de mesurer la durabilité dans le domaine de la construction et de l'architecture en posant des critères spécifiques et bien déterminés pour évaluer le taux de réalisation par les éléments architecturaux des notions de développement et de durabilité.

Parmi ces indicateurs, on peut prévoir par exemple l'examen des techniques et des matériaux de construction ainsi que des composants utilisés. Nous pouvons également nous référer à la quantité d'énergie consommée par cet édifice, aussi bien à la qualité des espaces intérieurs en termes de confort social ou climatique par exemple.

En effet, chaque discipline ou spécialité dispose de sa propre méthode d'évaluation et par conséquent de critères et indicateurs bien déterminés variant d'un domaine à l'autre et permettant de mesurer l'étendue du respect du concept de durabilité. Ainsi, on peut distinguer entre les indicateurs relatifs aux aspects économiques, d'autres relatifs aux aspects environnementaux dans toutes leurs dimensions et composantes. Il en est de même des indicateurs permettant l'évaluation de l'étendue de l'utilisation et de la consommation des ressources naturelles, outre l'existence d'indicateurs permettant d'évaluer le confort social [REEDER, 2010].

#### **2-6-4 Indicateurs d'évaluation de la durabilité**

Au cours de l'histoire, de nombreuses problématiques urbanistiques et environnementales ont été posées suivant la marche de l'évolution et des techniques disponibles en fonction du contexte spatio-temporel. A chaque fois qu'un problème se pose, l'homme tente d'y remédier et d'inventer des solutions qui seraient adéquates à son milieu naturel. L'homme a excellé dans la mise en place de solutions diverses et variées en recourant notamment aux ressources naturelles qui étaient à sa disposition à travers une utilisation efficace et

appropriée à son environnement. Il a de même mis en place des techniques de construction qualifiées aujourd'hui de traditionnelles et a inventé divers éléments architecturaux.

L'architecture traditionnelle arabe est connue notamment pour son harmonie et sa concordance avec son environnement. Nous comprenons pourquoi c'est une source de fierté de l'homme arabe. Toutefois, ce patrimoine transmis à travers des générations est en train de périr et de disparaître. De tout cet héritage, il ne reste que des ruines que nombreux rêvent de faire revivre, de récupérer ou du moins sont convaincus de l'intérêt de certaines composantes de cet héritage traditionnel. Beaucoup de personnes, notamment des spécialistes dans le domaine de la construction et du bâtiment ont été influencées de manière très significative par la civilisation occidentale contemporaine et ses modes d'édification qui ne s'accordent pas avec notre environnement. Ainsi, nous constatons une croissance et un développement discordant et très différent de notre réalité. En effet, nous assistons à l'apparition de nouveaux traits et caractéristiques urbanistiques et architecturaux qui ont affecté l'aspect urbanistique traditionnel y compris ses composantes architecturales hautement distinguées [TULBA, 2009].

Ainsi sont apparues les constructions en béton, que nous ne souhaitons pas qualifier de constructions modernes en raison du caractère aléatoire de cet usage, de notre point de vue, car nous pensons que la modernité est un signe d'évolution et de développement dans tous les différents domaines de la science, et qui logiquement doit suivre la marche de l'évolution du concept de durabilité.

Cette architecture en structures béton et métalliques avec des façades en verre, répandue de façon considérable, est particulièrement inappropriée au milieu en question. Il est alors devenu très rare et même inhabituel de voir des bâtiments traditionnels. Nous expliquerons dans le quatrième chapitre les raisons de cette transformation de l'environnement construit dans l'un des pays arabes (le Royaume d'Arabie Saoudite).

Nous devons essayer de trouver des moyens et des méthodes, aussi différentes soient elles, pour pouvoir profiter de la technologie moderne et ce sous ses divers aspects, tout en prenant en compte le profit que l'on peut tirer de cette architecture et de l'efficacité de ses composantes sur le plan social et climatique et qui peut s'adapter au contexte environnemental, tout en demeurant en conformité avec les exigences de croissance et d'évolution urbaine. Il convient également de prendre en considération les aspects positifs

de cette architecture et de rejeter les aspects négatifs à travers une évaluation selon les normes environnementales, sociales et urbanistiques. De même, l'évaluation de l'impact économique sur celle-ci et la satisfaction de l'ensemble des exigences de notre époque dans le respect de l'environnement naturel seront considérés afin de faire avancer le processus de développement ou du moins suivre la marche de cette évolution. Parallèlement à ce processus, il faudra s'intéresser à la préservation des sources d'énergie renouvelables et tenir à satisfaire et à assurer le confort des usagers.

**Les critères d'évaluation de la durabilité dans cette recherche consistent dans ce qui suit :**

- **L'indice (ou indicateurs) de compatibilité environnemental** : il convient de prendre impérativement en compte toutes les considérations fondées sur la protection de l'environnement, en particulier l'environnement urbanistique, qui se compose de différents éléments notamment les routes, les logements, lieux publics ainsi que les espaces ouverts et qui peuvent constituer soit une source de protection de l'environnement naturel ou au contraire une source de pollution, de destruction et de détérioration environnementale. Cet indice ou indicateur repose sur la compatibilité et le degré de concordance environnementale en vue d'évaluer l'étendue du développement ou de la croissance de façon continue et durable tout en tenant à la conservation des divers aspects environnementaux et urbanistiques ainsi qu'à la diminution de la consommation d'énergie.

- **Indice ou indicateur social : l'aspect social considéré au niveau de l'habitation** est l'un des facteurs qui affecte la durabilité de l'environnement urbanistique. Cet impact se manifeste à tous les niveaux et divers aspects des constructions. A partir de là, nous pouvons affirmer le rôle majeur de la dimension sociale dans l'évaluation du niveau de durabilité. En raison de l'évolution des systèmes de vie et de leur impact sur la vie sociale, il est nécessaire de déterminer l'impact de ces normes et réglementations sur l'homme ainsi que sur son habitat sur le plan social.

- **Indice ou indicateur urbanistique** : le recours à la technologie et l'évolution des systèmes et des normes d'urbanisation, et l'attention portée à la dimension scientifique est le chemin indispensable qui mène vers un développement durable, en conformité, en même temps, avec les principes et les normes d'urbanisation et la préservation de la forme et du contenu.

La mesure et l'évaluation des niveaux de la durabilité ainsi que l'accès à de meilleures solutions et moyens qui s'adaptent avec le milieu environnant considéré comme étant le meilleur milieu en termes d'évaluation environnementale occupent un rôle majeur. L'orientation et la définition du rôle des processus de conception et de planification, de même que l'absence de spontanéité et de choix aléatoire, conduisent à la mise en place de solutions durables. Tout cela constitue des bases fondamentales respectées dans les opérations de logement, de construction, de solutions environnementales. De même l'indice ou l'indicateur urbanistique est en relation avec la dimension économique, et ce à travers l'utilisation de normes architecturales pour une consommation rationnée des matériaux de construction ou en trouvant des solutions pour diminuer la consommation d'énergie.

Plusieurs programmes et systèmes existent permettant d'évaluer la durabilité et de l'analyser selon les normes posées qu'il s'agisse d'indicateurs sociaux, environnementaux, économiques ou urbanistique et qui tendent vers la protection de l'environnement.

## **2-7 Architecture bioclimatique et durabilité**

Le concept de durabilité a subi plusieurs évolutions au cours des dernières décennies :

- Dans les années soixante-dix, le concept de durabilité tendait vers la conservation des ressources naturelles.
- Dans les années quatre-vingt, l'objectif poursuivi par le développement durable consistait dans la satisfaction des besoins humains et l'amélioration de la qualité de vie tout en préservant les ressources environnementales ainsi que les écosystèmes.
- À la fin des années quatre-vingt, ce concept a pris des dimensions sociales et économiques entraînant l'appel à la lutte contre la pauvreté et l'analphabétisme ainsi que la préservation des ressources environnementales.
- Récemment, l'organisation des Nations Unies a posé une définition de la durabilité comme suit : il s'agit de la capacité des hommes à subvenir à leurs besoins actuels sans compromettre les droits et les facultés des générations futures à subvenir à leurs besoins dans l'avenir.

Et si l'on tient compte de cette dernière définition et que nous la transposions à l'environnement urbanistique, nous constaterons qu'elle comprend entre ses lignes un appel à déterminer un système environnemental urbanistique complémentaire en interaction avec l'homme et son confort ainsi que l'espace utilisé. Le système environnemental peut faire l'objet d'un découpage en trois parties principales :

I - l'environnement naturel : la biosphère ou l'espace qui permet la vie (Espace de Vie) [GOODLAND, 1995].

II - l'environnement bâti: ce sont toutes les constructions de l'homme édifiées dans la biosphère telles que les villes, les colonies humaines sous toutes leurs formes, les centres industriels, les terrains agricoles, les réseaux de transport ainsi que les réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, d'énergie et bien d'autres [BARTUSKA, 2007], afin de satisfaire les besoins primordiaux ainsi que le confort et la satisfaction des Hommes. Cet environnement bâti est à la fois source de confort mais il se pose aussi une problématique plus globale de satisfaction des usagers comme vu dans la figure 2-6.



Figure 2-6 : l'environnement bâti et ses quatre caractéristiques ; par l'auteur d'après [Bartuska, 2007].

III - l'environnement social : il s'agit de l'ensemble des institutions et normes humaines en vue de la gestion de l'environnement naturel et des milieux construits. Il tend vers le renforcement des liens sociaux entre les différents membres de la communauté. Cela

comprend aussi l'ensemble des facteurs exerçant une influence sur cet environnement [BARNET, 2001].

L'architecture bioclimatique est une spécialité qui s'intéresse aux principes et solutions relatives aux problématiques environnementales ainsi qu'à la conservation de la nature et de l'emploi au service de l'homme. C'est une science qui résulte de la combinaison de l'architecture comme art et ingénierie avec la nature environnementale. Cette spécialité est apparue au début des années cinquante comme une réaction naturelle face aux problèmes environnementaux devenus très compliqués sur le plan local [BOUGDAH, SHARPLES AND ZUNDE, 2009, MARTINEZ, 2012].

Il existe de nombreuses définitions sur ce qu'est une construction écologique ou ce que celle-ci devrait être. Ces définitions sont assez variables. Tantôt, il s'agit d'une construction qui n'est pas aussi mauvaise eut égard à la moyenne des constructions en termes de leurs impacts sur l'environnement ou qui est nettement meilleure que la moyenne des constructions, tantôt il s'agit d'une construction dotée d'un processus de régénération qui participe à l'amélioration et à la restauration du site et de ses environs.

Le projet vert ou écologique idéal est celui qui préserve et restaure l'habitat qui est essentiel pour le maintien de la vie et qui devient à la fois producteur et exportateur de ressources, de matériaux, d'énergies et de l'eau plutôt que d'être un consommateur. Une construction écologique est celle qui pendant son édification et tout au long de son existence va préserver l'existence d'un environnement sain le plus possible en même temps qu'elle a l'utilisation la plus efficace et la moins perturbatrice de la terre, de l'eau, de l'énergie et des ressources. La solution de conception optimale est celle qui reprend et tend à reproduire efficacement l'ensemble des systèmes naturels et des conditions du site avant son développement et aussi après que le développement soit terminé<sup>12</sup>.

Nous allons illustrer par des exemples se rapportant à notre zone d'étude, et nous concentrer sur l'architecture arabe traditionnelle et sa capacité d'interaction avec le concept social et environnemental de la durabilité.

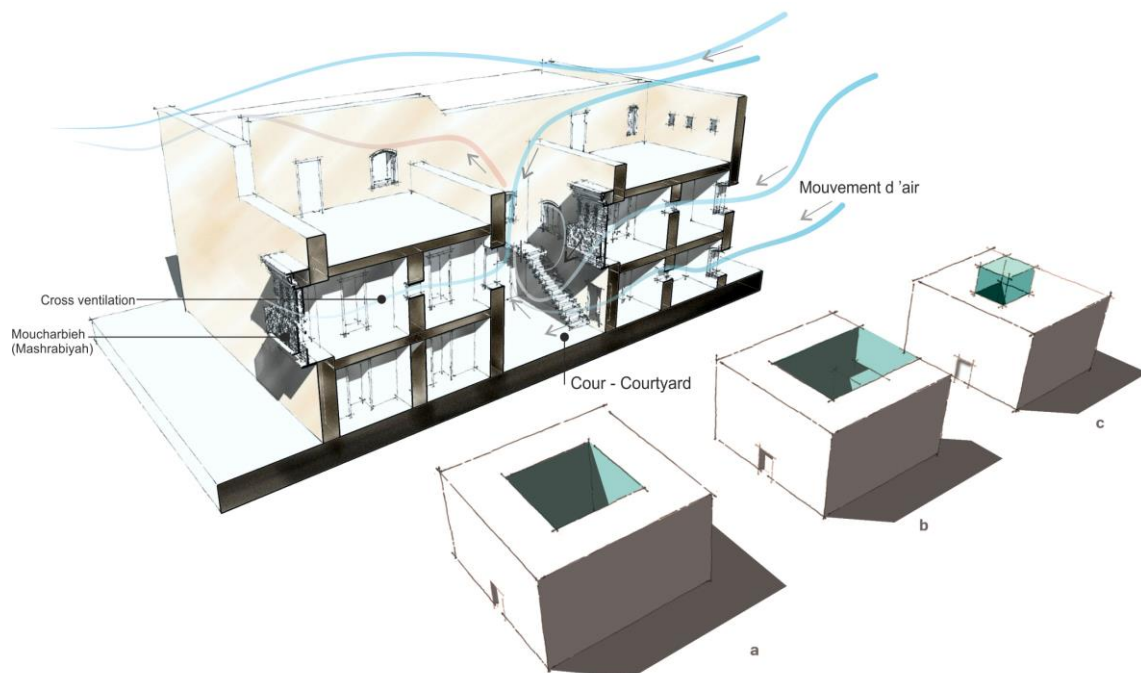
---

<sup>12</sup> United states environmental protection agency ; Green Building in Pennsylvania ; Rapport 2013

C'est un terme qui comprend tous les éléments fonctionnels soumis aux exigences et aux besoins de la vie sociale et culturelle et qui tendent toujours à assurer le confort durant toutes les phases de vie et à respecter toutes ces exigences.

Si nous prenons, par exemple, le principe de l'intimité, qui varie d'une société à l'autre en fonction de la culture, des usages et des coutumes sociétales, et que nous l'examinons uniquement au niveau du milieu traditionnel arabe, nous constaterons que l'intimité et le respect par les résidents de la rue est un des facteurs les plus importants qui ont affecté cet environnement.

En effet, les habitations étaient construites suivant une orientation horizontale partant de l'intérieur vers l'extérieur c'est à dire que l'on orientait le logement vers un espace vide interne. Cela peut être un espace ouvert, par exemple, une cour est toujours influencée par les dimensions climatiques et les dimensions socio-culturelles (Figure 2-7). Cela peut aussi être un espace fermé, une salle de séjour par exemple comme il pouvait, également, être orienté selon un axe de déplacement vertical (l'escalier) et ce en fonction des facteurs culturels et des conditions climatiques que nous aborderons ultérieurement.



**Figure 2-7 : illustre la formation des espaces dans les constructions traditionnelles dans le monde arabe en générale, que ce soit dans une cour interne ou une zone de déplacement horizontale, par l'auteur.**



## 2-8 Conclusion

Avec ce que nous avons démontré dans ce chapitre, nous pouvons remarquer qu'il existe une relation significative entre le développement et la durabilité d'une part, le confort et la satisfaction d'autre part. Il est possible d'obtenir un confort climatique maximum avec une économie forte, au détriment de la durabilité et de la satisfaction globale des usagers. Le développement durable permet d'équilibrer ces constantes tout en mettant au centre la satisfaction à la fois en terme de confort climatique et à la fois socio-culturel pour l'utilisateur. Comme l'écrivait Hassan Fathy, pour créer des constructions plus responsables, il est nécessaire de s'adapter à son environnement, nous pouvons constater qu'effectivement l'architecture vernaculaire est une architecture qui respecte certaines notions de durabilité.

## Chapitre 3

---

### LA FORMATION DES VILLES DANS LA REGION ARABE

### 3-1 Introduction

Dans ce chapitre, nous passerons en revue les analyses de lectures et études menées par certains chercheurs spécialisés dans l'architecture arabe ancienne tel que « *Ragette* », « *Akbar* », etc. Ils se sont en effet intéressés à l'étude et l'explication des anciennes villes arabes et à la détermination des facteurs qui ont eu un effet sur la formation des rues et des quartiers au niveau de la planification contemporaine. Ces chercheurs ont également contribué à expliquer l'habitat traditionnel et les facteurs ayant exercé un effet dans sa conception.

La formation des villes est essentielle pour aborder le thème de cette recherche puisqu'elle nous permet de prendre conscience et de cerner les principes de base ou les fondements qui rendent compte des éléments architecturaux anciens et de savoir, ainsi, si ceux-ci étaient ou non efficaces partant des lectures des théoriciens. Cette connaissance est d'autant plus importante que nous n'avons pas trouvé des études climatiques portant sur les éléments architecturaux de l'habitat et tout particulièrement en ce qui concerne les éléments de façade autour de la région de Djeddah. Les quelques études s'en rapprochant sont très générales sur le moucharabieh (*SAMUELS 2011, AL-LYALI, 1990, SHAREEF, OLDHAM ET CARTER 2001*).

Après avoir traité cette question nous émettrons des hypothèses qui nous aideront dans la mise en place d'une méthodologie de recherche.

### 3-2 Le contexte humain

La période au cours de laquelle nos ancêtres se sont installés et ont vécu dans le cadre de communautés permanentes ou stables, a connu l'émergence de trois facteurs humains qui avaient déjà commencé à modeler ou façonner le style architectural de la région :

- Tradition – Histoire : dans des communautés isolées, on peut s'attendre à trouver des tendances conservatrices, tandis que dans les communautés ouvertes aux influences extérieures, les attitudes plus progressistes prévaudront.
- Socio-économiques : selon la particularité des conditions locales, les facteurs socio-économiques permettront d'avoir une société qui peut être statique ou changeante, riche ou pauvre.

- Valeurs – Idéologie : selon les circonstances, les valeurs de la société seront conservatrices, libérales ou progressives. Cela s'exprime à travers les structures politiques et religieuses [RAGETTE, 2006], (Figure 3-1).

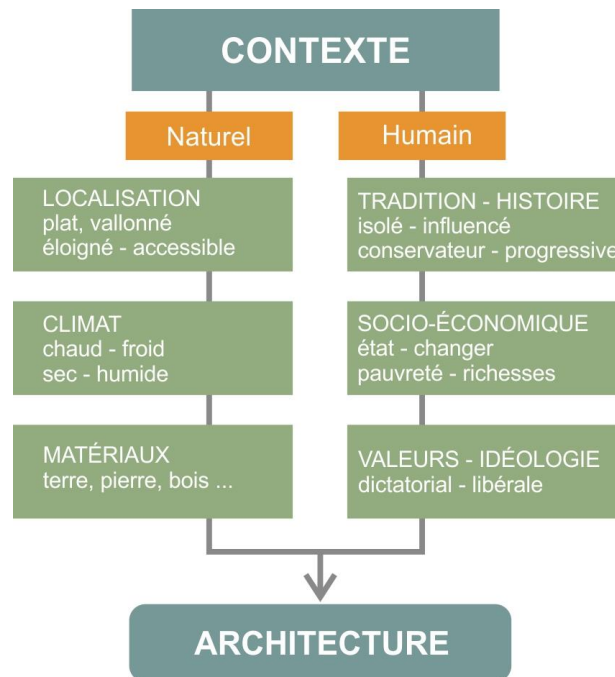


Figure 3-1 : les facteurs humains qui influent sur l'architecture ; par l'auteur d'après [Ragette, 2006].

L'influence de ces facteurs se manifeste, d'une manière ou d'une autre, dans tout travail architectural conçu et exécuté dans le respect des règles de l'art. L'architecture va évoluer différemment d'une communauté à l'autre car les besoins de chacune d'entre elles, de même que l'approche adoptée en vue de leurs satisfactions, sont assez variables. C'est la tâche de l'architecte d'évaluer le poids de tous ces facteurs dans la recherche d'une solution. De cette manière, l'architecte est l'un des rares généralistes dans un temps toujours en quête de plus de spécialisation.

Emplacement : si le climat et l'histoire ne peuvent être modifiés, les limitations matérielles ont été abolies dans le marché mondial d'aujourd'hui. Le meilleur exemple est sans conteste celui des pays du Golfe arabe avec le changement drastique de la situation économique et l'effet profond que ce changement a pu exercer sur les valeurs et l'idéologie de la société. Pas étonnant que ce changement soit également reflété à travers l'architecture du Golfe d'aujourd'hui (Figure 3-2).



Figure 3-2 : gauche : la ville de Dubai ; droite : La ville de Riyad ;  
[<http://www.businessinsider.com>] 2013.

### 3-3 Les modes de formation de la ville arabo-islamique

Les villes islamiques ont connu des particularités lors de leur formation du point de vue de la dynamique spatiale ou environnementale. Certaines villes comme Bagdad ont été sous l'influence d'un pouvoir central qui a exercé une forte maîtrise quant à la construction et à la planification urbaine. Tandis que la planification et la construction d'autres villes comme Machhad en Iran ont été décentralisées. Ces villes se sont dès lors formées et développées grâce à l'initiative et l'action des individus.

*Von Grunebaum*<sup>13</sup> propose de classifier les villes islamiques en deux catégories selon leur mode de formation : la ville traditionnelle et la ville créative, planifiée ou spontanée.

Le type de ville le plus répandu dans le monde islamique est celui des villes dites spontanées. Ces villes ne se sont pas développées suivant un plan arrêté d'avance mais sont nées grâce à leurs propres initiatives, sans aucune planification ou intervention du pouvoir central, d'où la dénomination de villes spontanées.

Les villes planifiées, elles sont réparties en 3 sous-catégories [AKBAR, 1992], [TELMISANI, 1989]:

---

<sup>13</sup> Gustave Edmund von Grunebaum, un historien autrichien et arabisant (1909-1973), *Medieval Islam* 1946 .

la première est celle des capitales telles que les villes de Bagdad capitale de la dynastie des Abbassides (Figure3-3), et de Fez capitale de la dynastie des Idrissides.

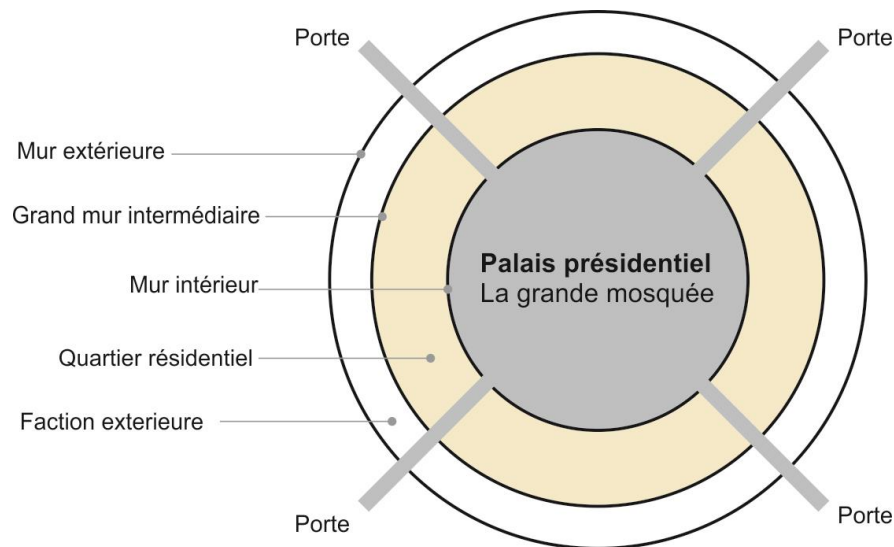


Figure 3-3 : perception de l'ancienne ville de Bagdad ; par l'auteur.

La deuxième est celle des villes des monarques. Il s'agit des villes qui se sont formées lorsqu'un monarque décide de s'installer dans une nouvelle ville autre que la capitale, la seconde ville devenant ainsi la nouvelle capitale du pays, c'est le cas notamment de la ville de Sor'min' Raa dite aussi Samara située en Iraq, où le calife arabe « *Al-Mutassim 833-841* » avait décidé de déplacer la capitale. Elle se situe à 125 km au nord de Bagdad. Nous pouvons également citer comme exemple la ville de Raqqada édifée par la dynastie des Aghlabides à une dizaine de kilomètres au sud-ouest de Kairouan à Tunis [MURTADA, 2003].

La troisième est celle des villes forteresses ou citadelles fortifiées à caractère religieux telle que la ville de Rabat au Maroc. La dernière sous-catégorie est celle des « *Amsar* ». Ce type de ville peut être également désigné sous l'appellation de villes militaires. Il s'agit des villes édifées par les premiers musulmans immédiatement après les premières conquêtes musulmanes telles que les villes de Koufa et Al Bassra en Iraq, Fostat en Egypte et la ville d'Al-Quayraouan et de Tlemcen à Tunis (Figure 3-4).

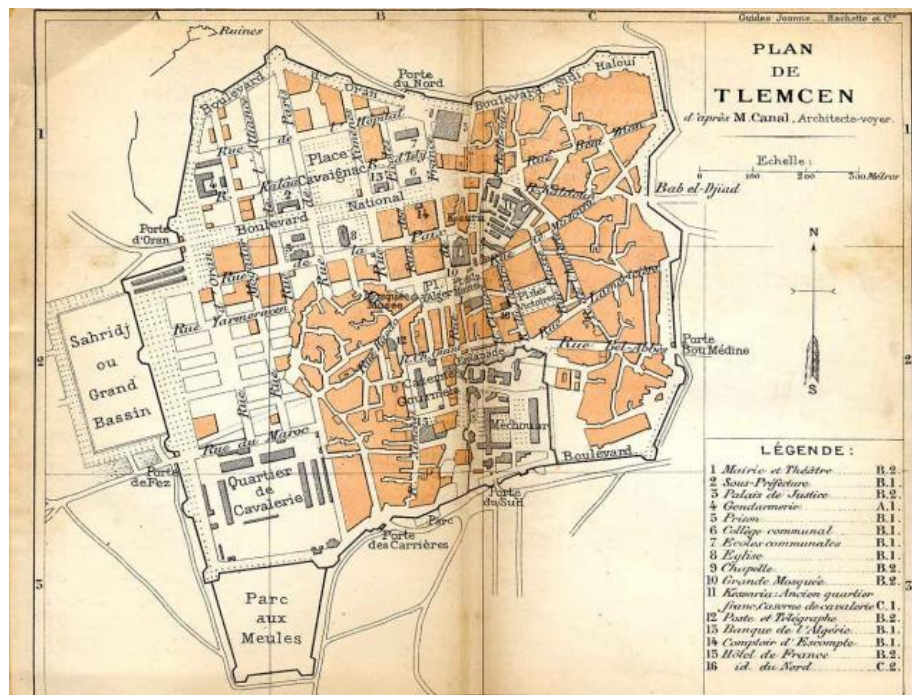


Figure 3-4 : plan de Tlemcen au début de l'époque française, on observe les murs de la ville [ancienne; [www.medinanet.org](http://www.medinanet.org), 2013].

S'agissant, par ailleurs, des villes formées avant la conquête de l'Islam telle que Damas, celles-ci sont considérées comme des villes spontanées [AKBAR, 1992]. Certes, la construction de ces villes a bien fait l'objet d'une planification par les premiers occupants, mais elles ont connu après l'arrivée de l'Islam une transformation telle qu'elles figurent désormais dans la catégorie des villes traditionnelles que nous verrons plus tard.

La question que nous posons à ceux qui s'intéressent à l'étude de l'architecture et de la planification urbaine arabo-musulmane est celle de savoir s'il serait logique de procéder à des conclusions, synthèses ou déductions en se focalisant, à l'instar des architectes, sur la forme de la ville et de ses constructions à partir notamment de la forme de ses dômes, arches et impasses et de les reproduire dans le milieu contemporain.

Les milieux traditionnels sont nés dans des circonstances différentes de l'époque actuelle. Nous ne prétendons pas, par cela, dénier au milieu traditionnel sa fonction de cadre propice pour l'extraction de grand nombre d'idées. Le patrimoine architectural produit des marques dans la mémoire de chaque peuple qui éprouve ainsi le besoin d'affirmer, de faire valoir son passé à la fois en le préservant mais également en le faisant évoluer. Nous sommes convaincus que ce milieu est le plus adéquat pour ses habitants. Il n'en demeure pas moins



que l'analyse des dynamiques sous-jacentes à la création de ce type d'environnement permet de tirer profit davantage de ce patrimoine [BOUHDIBA ET CHEVALLIER, 1982].

### 3-4 Le milieu traditionnel de la ville arabe

Le milieu traditionnel c'est « *l'ensemble des constructions et des espaces édifiés par les arabes selon les règles et principes de la Charia et les usages locaux et en utilisant des matériaux de construction disponibles à cette époque sans aucune intervention de l'autorité dirigeante excepté en cas de conflits entre propriétaires* » [AKBAR, 1992].

Il s'agit d'un milieu qui se caractérise par ses remparts et les murailles de ses villes ainsi que ses portes et par ses maisons et constructions collées les unes aux autres, disposant de cours intérieures [BOKHARY, 1983].

Quand bien même, le milieu traditionnel semble être mal organisé, il ne cesse d'impressionner l'observateur notamment par la qualité de ses constructions au niveau des façades et dans les espaces intérieures des habitats par exemple. La précision dans l'architecture et l'organisation transparait en effet à travers les façades et les éléments destinés à procurer le confort tel que le Rowshan, les voûtes, les arcs et les dômes. Sommes-nous face à un contresens ou avons-nous tout simplement mal analysé et jugé les éléments de cet environnement traditionnel ? En effet, le milieu traditionnel avec ses rues étroites et sinueuses est le modèle le plus adéquat pour ce type de sociétés. Beaucoup de chercheurs n'ont pas réussi à déceler le noyau central qui anime ce type urbain car ils se sont tout simplement penchés sur l'étude de ce visuel sinueux et étroit [ASKARY, 1977], (Figure 3-5).

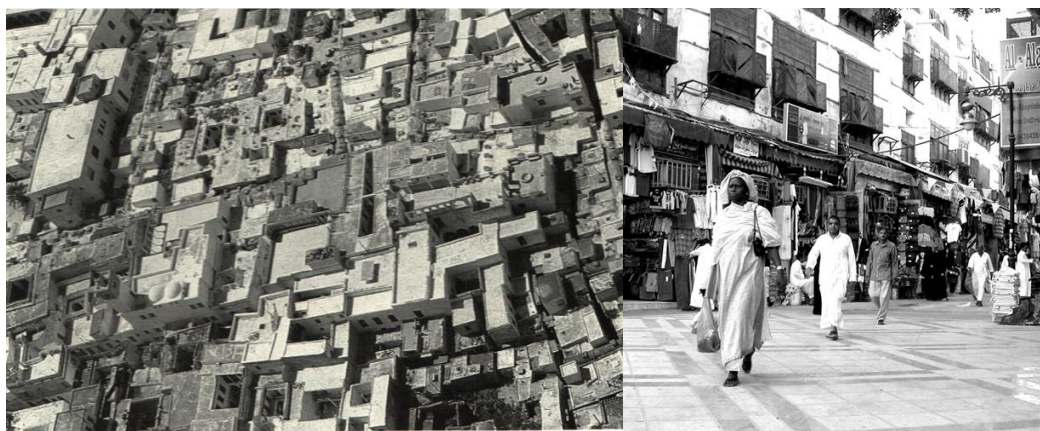


Figure 3-5 : gauche : vue aérienne de l'ancienne ville de Tunis ; droite : l'ancienne ville de Djeddah ; [ Akbar, 1992], [Wagner, 2008].



Citons à présent l'exemple de « *Ali Bacha Mubarak* »<sup>14</sup> qui dans sa description du Caire, à la fin du dix-neuvième siècle, écrivait « *s'agissant des quartiers dont les rues étaient souvent sinueuses et étroites ne suivant aucun schéma organisationnel. Bien au contraire certaines maisons débordaient sur la route contrairement à d'autres. En haut, certains moucharabiehs étaient collés les uns aux autres et se rencontraient avec ce qui était en face faisant de l'ombre sur toute la route* ».

Quant à la description des maisons, il écrivait ceci de la maison : « *Elles étaient faiblement éclairées et aérées. Rares étaient les villes qui ne souffraient pas d'humidité source de plusieurs maladies. Et lorsque le vent soufflait, c'était l'apocalypse. Et on ne pouvait percevoir que de la poussière provenant des maisons, et les destructions et dévastations étaient répandues dans toute la région* » [AKBAR, 1992].

Toutefois, tout le monde sait que la voiture n'était pas encore apparue à l'époque de Ali Bacha. Nous ne pouvons donc lui reprocher cette organisation des quartiers du milieu traditionnel. Il faut savoir que c'est au cours de cette époque que la révolution technologique et industrielle et l'effort de modernisation vont avoir lieu. La population a commencé, à cette époque, à immigrer vers les nouveaux quartiers et les nouvelles villes qui répondaient davantage à leurs besoins et attentes en terme de moyen de circulation tout particulièrement en terme de disponibilité des voies de circulation à savoir l'existence de rues et d'avenues sans se préoccuper de l'avenir de ces villes qui sont devenus indésirables pour l'habitat, comme mentionné par Ali Bacha dans sa description de la ville du Caire.

### 3-5 La transformation du milieu

Peut-on imaginer que les structures architecturales vont avoir une influence sur la transformation des éléments du milieu ? La construction subit l'effet de divers facteurs qui entraînent sa transformation. La majorité des architectes et ingénieurs n'ont pas anticipé cette transformation. Cette problématique était négligée étant donné que la mission de l'ingénieur prend fin au moment de l'achèvement de la construction [ALHATHLOUL, 1981].

---

<sup>14</sup> Ali Pacha Mubarak (1824 - 1893, Le Caire) (en arabe : علي باشا مبارك) est un homme d'État, Il fut ministre de l'Aménagement et ministre de l'Éducation durant la seconde moitié du xix<sup>ème</sup> siècle.

La situation des planificateurs, décideurs et chefs des municipalités est encore plus grave puisque leurs prédictions se basent sur de nombreux paramètres à la fois divers, changeants et à venir, qui échappent à leur contrôle tel que l'économie, la politique et l'industrie.

Leur situation s'aggrave davantage car ils pensent profondément qu'ils sont à même de comprendre les conditions et les facteurs qui influent sur l'évolution d'un milieu. Ainsi, par exemple, il peut arriver qu'ils planifient la création d'une ville ou qu'ils gèrent une ville pour la faire se développer selon une certaine orientation en se basant sur des études exhaustives, et qu'ensuite ils aboutissent à un résultat contraire à leurs prédictions ou prévisions. C'est le fameux exemple de la ville de New Delhi. En effet, à l'extérieur de cette ville, plusieurs villes industrielles ont été construites et planifiées de façon idéaliste et diversifiée, espérant par cela exercer une forte attraction sur les habitants réduisant par conséquent la densité démographique de la ville de New Delhi pour dégager davantage d'espaces. Ces nouvelles villes devaient également séduire la population rurale par les offres d'emploi qui s'y présentaient. Toutefois, cette population rurale s'est installée dans la ville New Delhi qui a vu sa population augmenter perturbant ainsi la circulation puisque les gens travaillant dans les nouvelles villes se déplacent régulièrement de et vers la ville mère. Cette situation a engendré l'apparition d'une nouvelle catégorie socio-économique dont le revenu provient de l'activité de transport de ces employés des nouvelles villes. Il est donc tout à fait naturel que cette nouvelle catégorie sociale ait une influence sur d'autres aspects de la ville [ALLEN, MASSEY AND PRYKE 1999].

### **3-6 La dynamique du milieu ou la dynamique environnementale**

Il est évident que les institutions et les personnes sont à l'origine de la formation d'un milieu donné, de son évolution et des mutations qu'il subit. Il est également évident que l'action de ces mêmes institutions et personnes est dépendante du contexte dans lequel elles se trouvent, de la pression qu'elles peuvent subir pouvant provenir de divers facteurs sociaux et économiques. Cependant lorsqu'elles agissent sur les éléments du milieu, que ce soit dans le cadre d'une construction ou d'une démolition, leurs actions s'inscrivent dans le périmètre d'un système délimité par la législation, des lois, des coutumes et usages en vigueur au sein

de leurs sociétés. Elles peuvent toutefois se trouver dans une posture de confrontation vis-à-vis de ce système ou de l'un de ses composants (tels qu'un usage) ou acteurs des personnes co-titulaires de pouvoir sur ce milieu. A titre d'exemple, une personne souhaitant modifier la destination de sa propriété, d'un local d'habitation à un local à usage commercial, peut être contrainte de faire face à l'opposition de ses voisins. De même la municipalité ou la mairie (l'entité territoriale compétente) peut s'opposer à une demande de modification ou d'aménagement d'une maison. Le maire lui-même peut être limité dans son action sur le milieu (par exemple dans la construction d'un édifice) notamment par la loi ou par l'enveloppe budgétaire qui lui est allouée mais ce peut être aussi par la contestation des habitants [LAPIDUS, 1967]. De même qu'une autorité gouvernementale hiérarchiquement supérieure (au maire) peut imposer des règles modernes de planification et de constructibilité qui risquent d'affecter le milieu. Une entité privée, une société d'investissement par exemple, peut également devoir affronter les services de l'Etat pour la réalisation de ses projets d'investissement.

Nous pouvons ainsi imaginer le milieu comme une scène de théâtre mettant en jeu divers acteurs privés (particuliers et société par exemple) et publics (le maire par exemple). Ces acteurs peuvent adopter des points de vue différents ou faire prévaloir des valeurs différentes. Ils peuvent ainsi être en accord ou en désaccord et selon les cas soit imposer des lois aux autres, soit se voir imposer une ou plusieurs lois quand bien même ils la ou les désapprouveraient. Ainsi l'université peut exercer son autorité dans l'enceinte de son territoire mais l'autorité locale à savoir la mairie peut également s'en charger. De même que les parents décident soit conjointement soit individuellement sur tout ce qui concerne l'aménagement du mobilier dans leur maison. Le milieu peut dès lors mettre en conflit les acteurs présents et participant dans sa formation, voire son existence même. Pour prévenir ou mettre un terme à ce type de conflit, il a fallu faire évoluer les normes et les usages qui participent dans le processus de prise de décisions relatives à l'environnement et à travers lesquels les individus sont en mesure de connaître ce qui est permis de ce qui ne l'est pas, de connaître leurs droits ainsi que leurs devoirs notamment ceux relatifs à leurs propriétés ; ceci est le sens visé par l'expression « *la dynamique environnementale* ».

La dynamique environnementale est sous l'effet immédiat des mentalités et idéologies de chaque société mais également des droits et devoirs des individus. Ainsi, dans certaines

sociétés, les individus disposent du droit de contestation et d'opposition concernant une décision de l'autorité administrative locale, le maire par exemple. Ils peuvent également participer dans la prise de décision lorsqu'il s'agit d'une décision touchant à la structure de la ville. Dans d'autres sociétés, les membres de celle-ci se voient dénier tout droit quant à la participation dans le processus d'élaboration ou d'adoption d'une décision bien même celle-ci affecterait directement l'environnement de ses membres. L'ensemble de ces sociétés dépend de plusieurs facteurs notamment sociaux, économiques, politiques, géographiques. Plusieurs recherches se sont intéressées à l'étude de ces dits facteurs. Nous pensons qu'il faudrait davantage privilégier l'étude de la dynamique qui sous-tend un milieu donné si on veut réellement le comprendre bien plus que le fait de s'attarder sur l'analyse de ces dits facteurs.

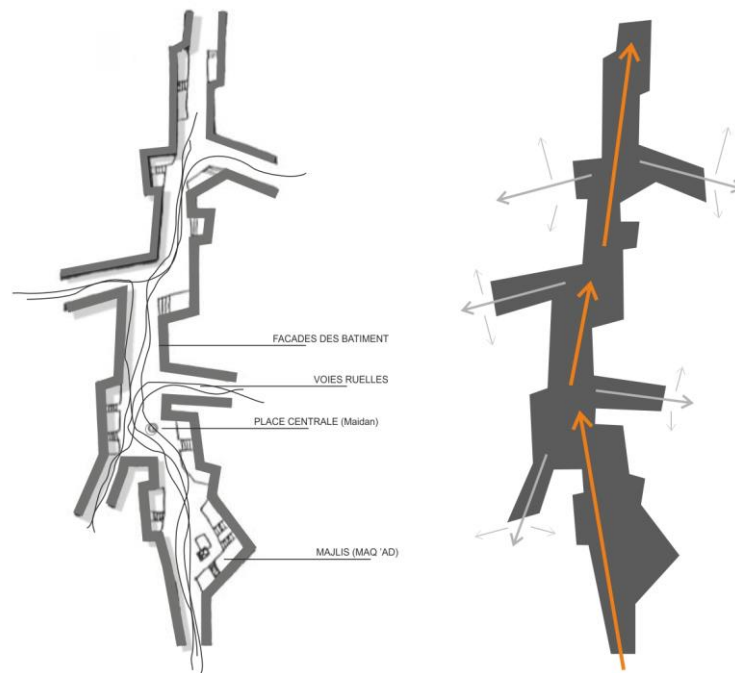
### **3-7 Les éléments architecturaux et leur interaction avec les facteurs sociaux et climatiques dans la Médina**

En général, la ville traditionnelle arabe est le résultat d'un regroupement dense de maisons à cour, qui est l'élément-clef dans la conception de l'habitat arabe et bénéficie de la lumière et de l'air dus à leur propre espace interne, cela permet d'éviter toute perte d'espace entre les bâtiments, le gain ou perte de chaleur externe, mais surtout, préserve l'intimité de chaque famille et évite les conflits avec les voisins<sup>15</sup> [RAGETTE, 2006].

A l'instar de chaque maison, la ville se développe de manière organique par agglomération, c'est –à-dire par l'ajout d'une unité à l'autre sans plan préconçu. La ressemblance avec un organisme vivant est assez frappante : tel un système de vaisseaux sanguins, les rues se ramifient à partir d'un carré central « *Maidan* » pour se transformer en voies et ruelles étroites et déboucher, enfin, sur une impasse. A l'instar de chaque maison disposant d'un espace central qui unit la famille, constituant ainsi une zone de contact neutre, les groupes de maisons disposent, à leur tour, d'un espace commun ouvert et sont organisés selon les liens entre les membres du clan ou suivant les lignes ethniques ou religieuses, créant ainsi un quartier « *Hara* » [CEJKA, 1978], (Figure 3-6).

---

<sup>15</sup> Note : Cet élément ne s'est pas propagé dans la vieille ville de Djeddah, en outre, on note la présence de cours extérieures entre les logements.



**Figure3-6 : Une artère principale dans un quartier ancien à laquelle viennent s'articuler des petites places ainsi que des ruelles semi-privées qui desservent les habitations; modifié par l'auteur.**

Dans cette zone semi-publique les gens se connaissent, et les étrangers sont dès lors immédiatement identifiés et interrogés sur leurs intentions. Les voies prioritaires tracent les frontières entre les quartiers et constituent des zones tampon menant à des espaces publics qui desservent l'ensemble de la communauté. En période de crise, chaque unité peut se refermer sur elle-même [ABU-GHAZZEH, 1994].

Selon Ragette, la forme irrégulière des maisons détermine aléatoirement le modèle des voies. Les logements intercalaires sont construits autour d'une cour rectangulaire et les chambres voisines absorbent les irrégularités. Toute la ville est une zone piétonne. Depuis que les Arabes ont eu recours aux porteurs ainsi qu'aux bêtes de somme pour le transport des marchandises, les rues sont devenues étroites et tortueuses. Aujourd'hui, les mini-pick-up, les scooters et les vélos desservent ces quartiers. Seules les villes reprises depuis

l'époque préislamique peuvent disposer de certains restes d'un réseau régulier basé sur le « *Cardo*<sup>16</sup> » et le « *Decumanus*<sup>17</sup> ».

L'islam a renforcé l'équilibre délicat entre la ségrégation et la solidarité entre divers groupes ethniques et religieux. Tout comme les maisons, la ville comporte également des zones publiques, semi-publiques et privées. La ville arabe ne connaît pas de place de ville formelle ou officielle tel que sous entendue dans le sens occidental du terme. Le plus grand espace ouvert est celui de la cour de la mosquée pour la prière du vendredi « *Masjid Juma* ». Outre les nombreuses petites mosquées de quartier, la mosquée du vendredi est destinée à servir plusieurs quartiers voire toute la ville, les vendredis et les jours de fêtes. Tous les hommes se rassemblent à l'intérieur et à l'extérieur de la mosquée pour la prière. Après que la prière et l'annonce publique du sermon soient terminées, les gens en profitent pour échanger leurs nouvelles.

Les voies menant aux maisons individuelles sont vraiment l'espace restant entre les groupes familiaux. Leurs irrégularités renforcent les barrières visuelles de même que l'isolement ainsi souhaité par les résidents. On évite même de disposer les entrées les unes en face des autres. Les passages étroits fournissent de l'ombre, leurs irrégularités bloquent le mouvement excessif de l'air transportant du sable et de la poussière. La largeur de la voie doit être suffisante pour le passage de deux animaux chargés [ABU-GHAZZEH, 1994].

Plus que l'envie d'assurer l'isolement de l'habitation, la curiosité de percevoir et d'entendre ce qui se passe sur la voie pousse à l'utilisation d'ouvertures appropriées au premier étage « *Moucharbieh et Rowshan* » (Figure 3-7). Un filtrage bien élaboré permet d'offrir une ventilation et une visibilité sur l'extérieur, en même temps qu'il met l'observateur à l'abri de tout regard. Beaucoup d'échanges commerciaux sont menés par l'abaissement d'un panier d'une fenêtre aux volets clos. Dans chaque *quartier* on trouve des maisons de riches et des maisons de pauvres. Une différence de statut économique ou social ne peut guère être discernée de l'extérieur. La hauteur uniforme des bâtiments assure la confidentialité et

---

<sup>16</sup> *Cardo* est le mot latin pour « *pivot* » ou « *gond de porte* », employé en termes d'orientation géographique pour désigner l'axe nord-sud autour duquel semble pivoter la voûte céleste.

<sup>17</sup> Le *decumanus* est un axe est-ouest dans une ville romaine.

l'égalité de ventilation pour chaque maison. Les querelles les plus alimentées ou virulentes concernent des problèmes de vue à partir de constructions voisines [AL-SHAREEF, 1996].



Figure 3-7 : un des types de rowshan dans la vieille ville de Djeddah ; par l'auteur.

### 3-8 Stratégies de la conception traditionnelles au Niveau de l'habitat

Nous avons eu l'occasion soulever la question de l'influence du caractère général de l'environnement et de la densité de l'aménagement qui peut conduire à une attitude de réclusion. Les conceptions islamiques à propos de la famille et sur son rôle social ont renforcé la tendance à l'introversion. Les règles explicites et implicites fixées par le Coran mettent en effet, en place un mode particulier de planification, d'où l'expression d'« *architecture islamique* ».

La Sourate de la lumière, dans Le Coran (XXIV, 27-28) prescrit « *Ô vous qui croyez! N'entrez pas dans des maisons autres que les vôtres avant de demander la permission (d'une façon délicate) et de saluer leurs habitants. Cela est meilleur pour vous. Peut-être vous souvenez-vous. Si vous n'y trouvez personne, alors n'y entrez pas avant que permission vous soit*

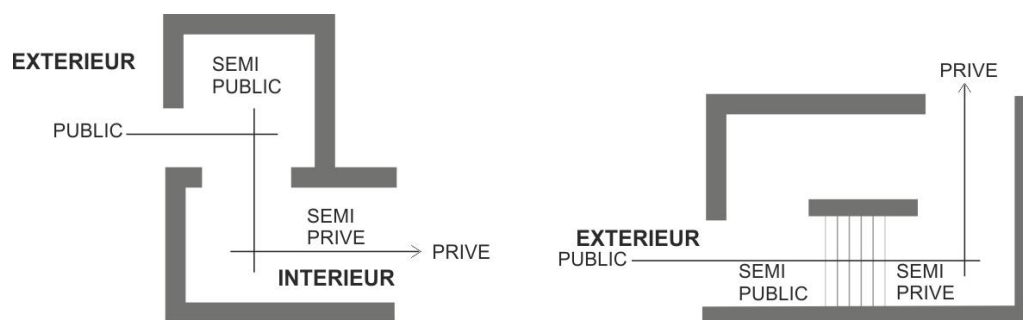
*donnée. Et si on vous dit : "Retournez", eh bien, retournez. Cela est plus pur pour vous. Et Allah, de ce que vous faites est Omniscient ».*

### 3-8-1 La conception dans le respect de l'intimité

Le « *Sakan* » est un terme arabe, qui veut dire habitat, et qui est dérivé du mot « *Sakina* », qui signifie paisible et sainte, enceinte sacrée [RAGETTE, 2006]. Ce terme nous montre parfaitement l'accent qui est mis sur la protection de la vie privée. Ainsi, la fermeture de la maison vis à vis de l'extérieur est une nécessité qui ne tend certainement pas à simplement repousser le bruit, la poussière et les odeurs provenant de la rue. Au rez-de-chaussée, c'est à peine si nous trouvons une quelconque ouverture, à moins que l'espace au rez-de-chaussée n'abrite des magasins destinés à la location. Comme dans le cas du vieux Djeddah et de La Mecque où ils ont utilisé le Rowshan.

### 3-8-2 L'interaction des façades et la protection de l'intimité

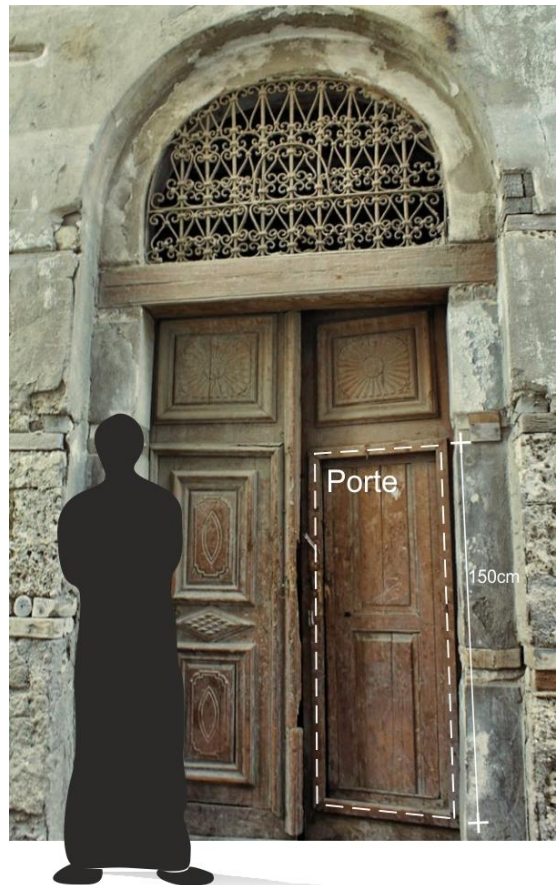
La porte d'entrée sépare le public de l'espace semi-public (Figure 3-8). Elle donne sur un espace tampon sans vue directe sur le fond de la maison. Un couloir central ou angulaire mènera plus loin, en général, vers une cour. L'entrée des maisons assez simple, de base, peut donner directement sur la cour, mais avec un mur écran. Droit devant, à côté de l'entrée, se trouve l'espace réservé à la réception des visiteurs masculins « *Majlis* ». Dans les grandes maisons, cette pièce peut être attachée à la cour. Du côté de l'entrée de la cour, se trouve, au moins, encore un espace semi-public, mais qui va se prolonger jusqu'à la zone semi-privée du côté des femmes. Bien sûr, tout visiteur qui approcherait cette espace privatisé en sera avisé et la famille agira en conséquence. Les femmes dans ce cas mettront leurs voiles ou se retireront dans leurs quartiers [RAGETTE, 2006].





**Figure 3-8 : les niveaux d'intimité entre les rues et la maison. Ils sont hiérarchisés sous les espaces publics ou les espaces privés ; par l'auteur.**

L'entrée de la maison pose un dilemme car d'une part, elle doit être petite pour la protection de l'intimité de la maison et, de l'autre, elle doit être assez accueillante pour refléter, ainsi, le statut social du propriétaire. Souvent la finition intérieure en plâtre est délaissée et réalisée tout simplement à l'extérieur par le cadre de la porte comme touche d'accentuation (Figure 3-9).



**Figure 3-9 : l'échelle humaine et la hauteur d'une porte dans la vieille ville de Djeddah ; modifié par l'auteur.**

Les panneaux décoratifs des portes ainsi que les cadres sont des signes révélateurs ou distinctifs sur le statut social ; la sculpture en bois et les ouvrages de ferronnerie sont une règle. Les illustrations colorées peuvent indiquer les réalisations du propriétaire, comme le hajj, le pèlerinage à La Mecque. Dans les maisons importantes, la porte sera agrandie ; nous aurons ainsi un portail avec deux grands vantaux, mais avec une petite poterne intégrée. Enfin, la porte peut être davantage embellie avec des designs de maçonnerie autour, incluant des cadres, des frises, des arcs [KING, 1998], (Figure 3-10).



Figure 3-10 : la grande maison d'Al-Bougari à Taïf, dans laquelle d'autres types de moucharbieh ont été installés pour pouvoir s'adapter au climat de la région (la maison de mon grand-père) ; par l'auteur.

Beaucoup de détails dans la maison nous montrent que plus que l'isolement, c'est la question de l'intimité qui est la plus recherchée. A l'instar du voile derrière lequel se cache le porteur mais qui restreint à peine sa vision, les stores persiennes sont censées permettre la participation des femmes qui peuvent, ainsi, voir et entendre à travers des écrans (Figure 3-11).

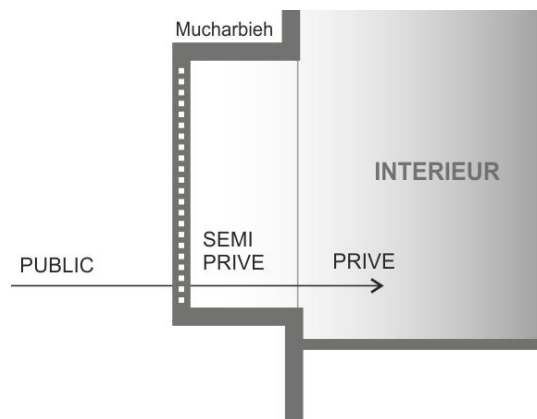


Figure 3-11 : le moucharabieh et la question de l'intimité ; par l'auteur.

En Arabie Saoudite dans la région du Hedjaz, les fenêtres soigneusement grillagées permettent la communication vers l'extérieur, la rue. L'utilisation vaste des baies en bois et des fenêtres en saillie grillagées « *Moucharabieh, Rowshan* » était possible dans les villes bien protégées et a été, d'ailleurs, favorisée par le poids et la stabilité relative des règles et lois instaurées par la domination ottomane (Figure 3-12). L'architecture turque est,

d'ailleurs, assez reconnue par l'utilisation des oriels en bois, par des grillages et par la conception de kiosques assez légers. Les villes les plus illustratives sont probablement celles de Djeddah, sur laquelle porte notre étude de cas, ainsi que la Mecque et Taïf, trois villes cosmopolites en raison des pèlerinages annuels [RAGETTE, 2006].



**Figure 3-12 : vue intérieure de la salle de séjour dans une maison traditionnelle à Djeddah.**  
Ici, l'éclairage solaire ne rentre pas directement dans la pièce, elle est éclairée de façon indirecte ; [AlHajj Photographe, 2012].

Tous les quartiers consacrés aux femmes ainsi qu'aux enfants, y compris la salle familiale et la cuisine sont des zones privées. À mesure qu'on avance vers l'intérieur de la maison ou que l'on s'élève en hauteur, les espaces sont davantage privatisés, mais il existe des exceptions, en fonction de la configuration de la maison et des besoins en termes de circulation interne. Si un couloir spécial mène à une pièce éloignée, il peut très bien avoir une fonction semi-publique. Cet aspect se trouve particulièrement dans les grandes demeures où l'escalier principal est semi-public jusqu'au sommet qui abrite d'habitude le *majlis* ; ce dernier se trouvant, dès lors, dans une position dominante en haut de la maison [AL-LYALY, 1990].

Dans les grandes maisons, la séparation entre les genres peut être assurée par l'aménagement de différentes cours intérieures ou de plusieurs étages. Dans ce cas, il est possible de prévoir des escaliers publics et privés distincts les uns des autres. Une séparation verticale des fonctions est évidemment réalisée dans les maisons où il est difficile d'avoir une cour. Dans ce cas, les services, le stockage et les écuries sont au rez-de-chaussée et la salle de séjour en haut. Dans plusieurs étages de la famille, nous avons généralement un ordre d'aménagement vertical : le stockage et les écuries, la cuisine et l'espace dédié au travail, la famille et les femmes, les hommes et les invités [S.G.U., 2003].

### 3-8-3 Conception pour les besoins variables en termes d'espace et d'expansion

Le système de parenté patrilinéaire<sup>18</sup> avec la préférence de la résidence patrilocalité, qui signifie la mise à disposition d'unités d'habitation pour les fils dans l'enceinte du clan, accentue davantage les besoins en termes d'expansion et d'agrandissement de la demeure familiale. Comme exemple de l'hébergement de la famille patrilinéaire peut servir le diagramme d'interaction d'un monogramme prolongé et typique d'une famille. Les frontières indiquent les combinaisons préférées principalement basées sur le genre [RAGETTE, 2006].

De façon proverbiale, la maison traditionnelle arabe n'est jamais complète [AL-LYALY, 1990]. Le modèle de croissance organique de chaque quartier de la ville « *Hara* ou *Haï* » reflète l'expansion graduelle des maisons à cour. Lorsque l'occasion se présentait, on pouvait aussi acquérir les maisons adjacentes qu'on annexait, dès lors, à l'ancienne demeure, parfois même par un passage qui surplombait la rue et que l'on appelle « *Saqifa* ». Même certaines parties des bâtiments voisins et des droits d'aménagement sur l'espace voisin peuvent être obtenus. Aujourd'hui, nous constatons souvent plus d'expansion verticale par le renforcement des barres de colonnes qui sortent des toits plats [ALHARBI, 1989].

La taille des chambres est souvent mesurée par le nombre de matelas qui peuvent y être logés. De cette façon, même les pièces de réception comme le salon « *Majlis* » ou le « *Iwan* » peuvent être utilisées pour dormir, si nécessaire [AKBAR, 1992].

La flexibilité fonctionnelle est renforcée par les clôtures des pièces actives. L'épaisseur des murs de construction permet d'y creuser des niches<sup>19</sup>, d'y construire des armoires, des

---

<sup>18</sup>Se dit d'un mode de filiation pour lequel seule compte la parenté paternelle (le nom, les privilèges, l'appartenance à un clan ou à une classe se transmettent du père et des parents du père aux enfants ; aucun droit n'est reconnu aux parents du côté maternel).

<sup>19</sup>Niche : est un petit retrait (en forme d'alvéole et abritant bien souvent une petite statue, à l'origine) dans l'épaisseur d'un mur donnant sur la propriété voisine.

étagères et même des silos pour y stocker les denrées alimentaires. On se sert des cloisons des pièces souvent des deux côtés [ECOLE D'AVIGNON, 2006].

### 3-8-4 L'adaptation climatique

Ibn Khaldoun dans son livre « *Muqaddima d'Ibn Khaldoun* », met l'accent sur la mission de contrôle de l'environnement par l'architecte : le métier d'architecte est le premier et le plus ancien métier de la civilisation sédentaire. Ainsi, il est inévitable qu'il doive réfléchir à la manière d'éviter le préjudice résultant de la chaleur et du froid à travers des maisons avec des murs et des toits intervenant entre lui et les choses l'entourant de tous côtés [RAGETTE, 2006].

L'orientation en se référant soit au soleil ou au vent est une réponse assez basique aux changements du climat local. Il peut exister, parfois, des conflits concernant l'orientation vers une vue mais on peut, également, rencontrer des contraintes imposées par le site. En général, c'est le soleil, principale source de confort ou d'inconfort, qui détermine l'orientation. Les édifices religieux islamiques, qui sont orientés vers la Mecque restent des exceptions.

Alors que les Grecs planifiaient rationnellement des villes entières en installant des grilles au niveau des rues pour un maximum d'ombre et de brise, la flexibilité de la conception de la maison arabe permet d'envisager des solutions individuelles en termes d'orientation. Cela permet aux habitants de vivre dans les parties de la maison qui sont le plus confortable en termes de température et de ventilation ce qui aboutit à une sorte de nomadisme vertical et horizontal. Les maisons à proximité de la mer ont tendance à s'ouvrir vers la plage, et profitent de la brise de la journée. Les pièces d'été avec de grandes ouvertures seront placées en face de la mer et l'hébergement d'hiver à l'arrière [OIKONOMOU, 2010].

Loin des côtes, la péninsule arabe se caractérise par de grandes différences de température sur 24 heures qui résultent de l'intense rayonnement solaire pendant la journée et du rapide refroidissement, la nuit sous un ciel dégagé. La construction de murs extérieurs très épais, en pierre ou avec de la boue, permettra non seulement l'isolation de la chaleur de la

journée, mais contribuera, également, à retarder sa transmission et sa conservation pour les matinées froides<sup>20</sup>.

Dans les régions au climat extrême, tels que la région du Hedjaz<sup>21</sup>, les habitants adoptent des pratiques sur une base quotidienne. En effet, les nuits sont passées sur le toit, le matin à l'étage inférieur et la chaleur excessive de l'après-midi est évitée dans le sous-sol. Cette stratégie est basée sur le rayonnement du ciel froid, la nuit, et le fait que l'air chaud monte tandis que l'air froid s'accumule dans les espaces bas. Même la fermeture et l'ouverture des fenêtres et des portes sont effectuées judicieusement, que ce soit pour permettre la circulation de l'air ou pour l'en empêcher. Le déplacement saisonnier du rez-de-chaussée au premier étage, au début de l'été était une habitude dans les villes côtières humides [AL-LYALY, 1990], qui a donné lieu à une duplication des plans d'étage. Dans les zones côtières à proximité des montagnes, les gens passent les mois les plus chauds dans les lieux de haute altitude.

A mesure que l'on s'éloigne de l'équateur, que ce soit vers le nord ou vers le sud, la différence de l'angle du soleil entre le solstice d'hiver et d'été s'agrandit. Avec des journées plus courtes et plus longues, cette exposition annuelle au soleil est responsable de la différence des saisons. Heureusement, le soleil d'hiver pénètre plus profondément dans les pièces orientées vers le sud à un moment où la chaleur est nécessaire. Toutefois, à partir du mois d'avril jusqu'à octobre, l'ombre est souhaitable pour se protéger des rayons du soleil projetés directement, dans la plupart des parties de la région arabe. Déjà la tente est principalement un dispositif d'ombrage et des structures en forme de tente servent, aujourd'hui, comme abris de soleil très efficaces. Les porches à colonnades ou bordés d'arcades ainsi que les péristyles procurent de l'ombre aux passages et aux murs (Figure 3-13).

---

<sup>20</sup>L'inertie.

<sup>21</sup>Le Hedjaz est la région ouest d'Arabie saoudite, comprenant notamment les provinces de Médine et La Mecque sa principale ville est Djeddah, mais les cités les plus connues sont les villes saintes de La Mecque et Médine.



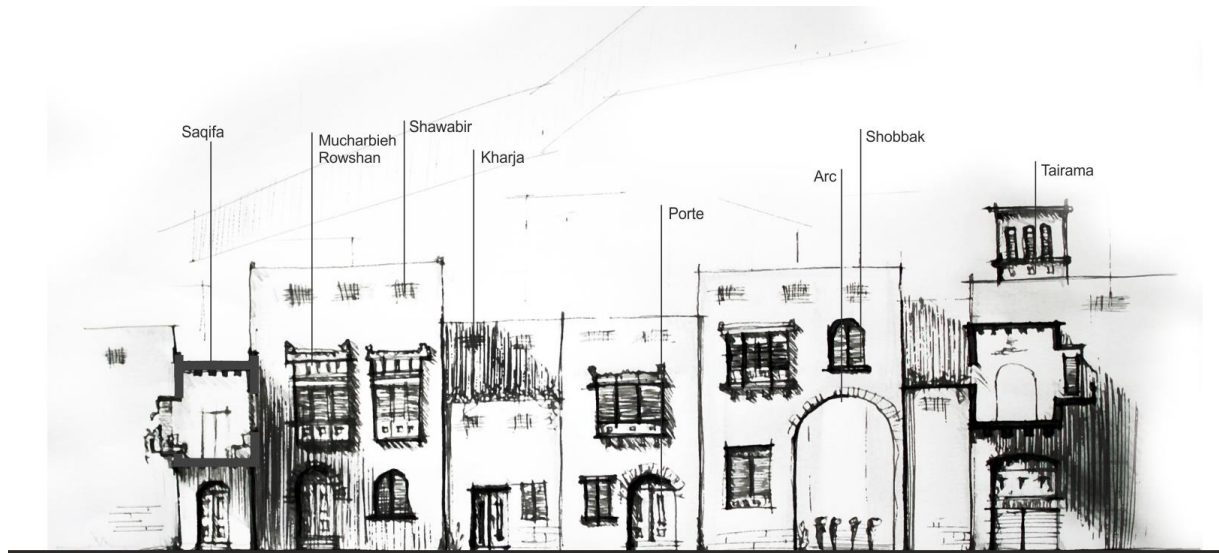


Figure 3-13 : les composants des façades dans la ville traditionnelle arabe ; par l'auteur.

Etant donné que les bâtiments sont essentiellement fermés à l'extérieur, des éléments d'ombrage sur les façades jouent un rôle mineur et les écrans visuels permettent également d'avoir de l'ombre (Figure 3-14). Au cours de la première étape de l'occidentalisation, qui a ouvert les bâtiments vers l'extérieur, les outils d'ombrage tel que le brise-soleil sont devenus un élément élémentaire de conception. Aujourd'hui, ceux-ci sont remplacés par du verre retenant la chaleur (effet de serre).



Figure 3-14 : la projection des rowshans aide diminuer la rayonnement solaire sur les façades également à augmenter l'espace intérieur ; par [Kabli photograph, 2012].

### **3-9 Les relations entre l'homme et l'habitat au Hedjaz (la zone du cas d'étude)**

L'étude de l'habitat du Hedjaz révèle que celui-ci était perçu ou considéré comme un corps vivant dans la société. Les constructions avaient, jusqu'à leur achèvement, une appellation. Celle de « *AlBina* ». Une fois achevées, elles étaient désignées par le nom de la famille propriétaire. Les parties de la maison portaient les mêmes appellations que celles des organes du corps humain. Ainsi, l'habitation est constituée de trois parties : la tête, le corps et les jambes.

Le corps désigne la partie centrale de l'être humain comprenant plusieurs organes spécialisés dans des fonctions bien déterminées. Les parties de la vie quotidienne sont situées dans la maison dans la partie centrale dans lesquelles les membres de la famille vivent tout au long de leur vie. Nous trouvons ainsi au niveau de cette partie les chambres à coucher et la pièce principale où tous les membres de la famille vont se réunir.

S'agissant de la partie inférieure, à savoir les deux jambes, celle-ci est responsable d'une des fonctionnalités les plus essentielles dans la vie de l'homme à savoir la mobilité et sa capacité à la participation dans les activités sociales. Le rôle de cette partie est très influent sur son image vivante. A l'instar de l'homme, l'habitat du Hedjaz ne peut être conçu sans une pièce réservée à l'accueil et à la réception. Cette pièce est un espace sociétal où l'on reçoit les amis, les voisins, et toutes sortes d'invités.

La tête humaine est considérée comme étant la partie supérieure de l'être humain, de même que la tête de la maison. Ainsi, nous y trouvons la chambre propre au patriarche de la famille ainsi que celles réservées aux membres les plus distingués de la famille. La maison est, dès lors, à la fois un espace individuel, familial et collectif. Cet espace est en étroite dépendance avec la vie des gens et du style de vie adopté par ses occupants. Il reflète le temps et la vie sociale entre ses murs. La maison est un élément présent dans toutes les fêtes et événements sociaux et culturels et qui, à l'instar de l'homme, va être habillée et embellie par les décorations propres à chaque événement<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup>Projet du développement de la zone historique de Djeddah ; 2005



### 3-10 Le Rowshan, l'élément des façades dans l'habitat traditionnel du Hedjaz

Le moucharabieh ou le « *Chanchoul* » ou le « *Rowshan* » est un ensemble architectural qui saillit hors du bâtiment (se dégageant du mur d'un édifice) donnant sur la rue. Il peut cependant être à l'intérieur de l'édifice et donner sur une cour fermée. Le moucharabieh est construit en bois sculpté et décoré avec un revêtement en verre de couleur. Il est considéré comme l'un des éléments de l'architecture traditionnelle dans les pays arabes ayant un climat chaud du désert. Apparu au sixième siècle de l'Hégire (treizième siècle de l'ère chrétienne) à l'époque de la dynastie des abbassides, le moucharabieh a continué d'être utilisé jusqu'au début du XXe siècle. Le moucharabieh est fréquemment utilisé dans les maisons traditionnelles (bâtiments résidentiels), mais également dans certains bâtiments publics [ALJOFI, 2005].

#### 3-10-1 Etymologie

Le mot Rowshan est d'origine perse, qui signifie l'endroit où l'espace est traversé par la lumière, c'est-à-dire la structure en bois considérée comme un élément essentiel de la construction. Le mot Rowshan relève dans la langue arabe de la catégorie du mot ayant comme racine rowshan et qui signifie un trou ou ouverture dans le mur [ALJOFI, 2005].

Il s'agit d'une structure faite en bois, parsemée d'unités décoratives avec des formes géométriques ou végétales sculptées ou évidées ou sous formes de garnitures (Figure 3-15). Cette structure, qui est un élément essentiel de la construction, couvre souvent la façade des étages supérieurs d'un immeuble [ECOLE D'AVIGNON, 2006].



Figure 3-15 : le rowshan à la vieille ville de Djeddah ; modifié par l'auteur.

Les conquêtes islamiques à l'est, à l'ouest et au nord de la péninsule arabique ont permis la propagation de la religion musulmane dans les régions ainsi conquises. Cette nouvelle religion a eu un impact sur la culture et les mentalités de ces peuples réalisant une unification de leurs perceptions, conceptions et aspirations. L'architecture en tant qu'art parmi d'autres va, également, subir l'influence de la pensée et des conceptions islamiques. Cette unification dans les pensées des peuples dans tout le monde islamique apporte désormais une unité des arts en terme de pensée, de culture et de spiritualité.

Le Rowshan est un élément essentiel de l'architecture islamique qui témoigne de la créativité des architectes. Ils ont réussi à créer un aspect artistique hautement distingué à travers des unités décoratives variables, architecturales, végétales, artistiques et fonctionnelles. On le trouve parfois gravé en creux.

### **3-10-2 La fonction et les différents types du Rowshan**

Le Rowshan assure deux fonctions, l'une physique ou matérielle et l'autre sociale. La fonction matérielle réside dans l'aération (ou la ventilation par l'air) et l'éclairage. La fonction sociale est en étroite relation avec le mode de vie en plus de l'aspect esthétique d'embellissement des façades des immeubles ainsi que la préservation de l'intimité de la vie privée.

### **3-10-3 La relation entre le Moucharabieh et le Rowshan**

Le Moucharabieh est une structure architecturale traditionnelle des habitats orientaux, dont les finitions au niveau des interstices, à première vue ornementales, ont pour principale caractéristique d'être conséquentes en nombre et en dimension.

Concernant le Rowshan, nous remarquons que celui-ci présente une structure projetée supplémentaire, permettant essentiellement de préserver une plus grande intimité des regards extérieurs. Donc on peut dire que le rowshan est une déclinaison du moucharabieh (Figure 3-16).

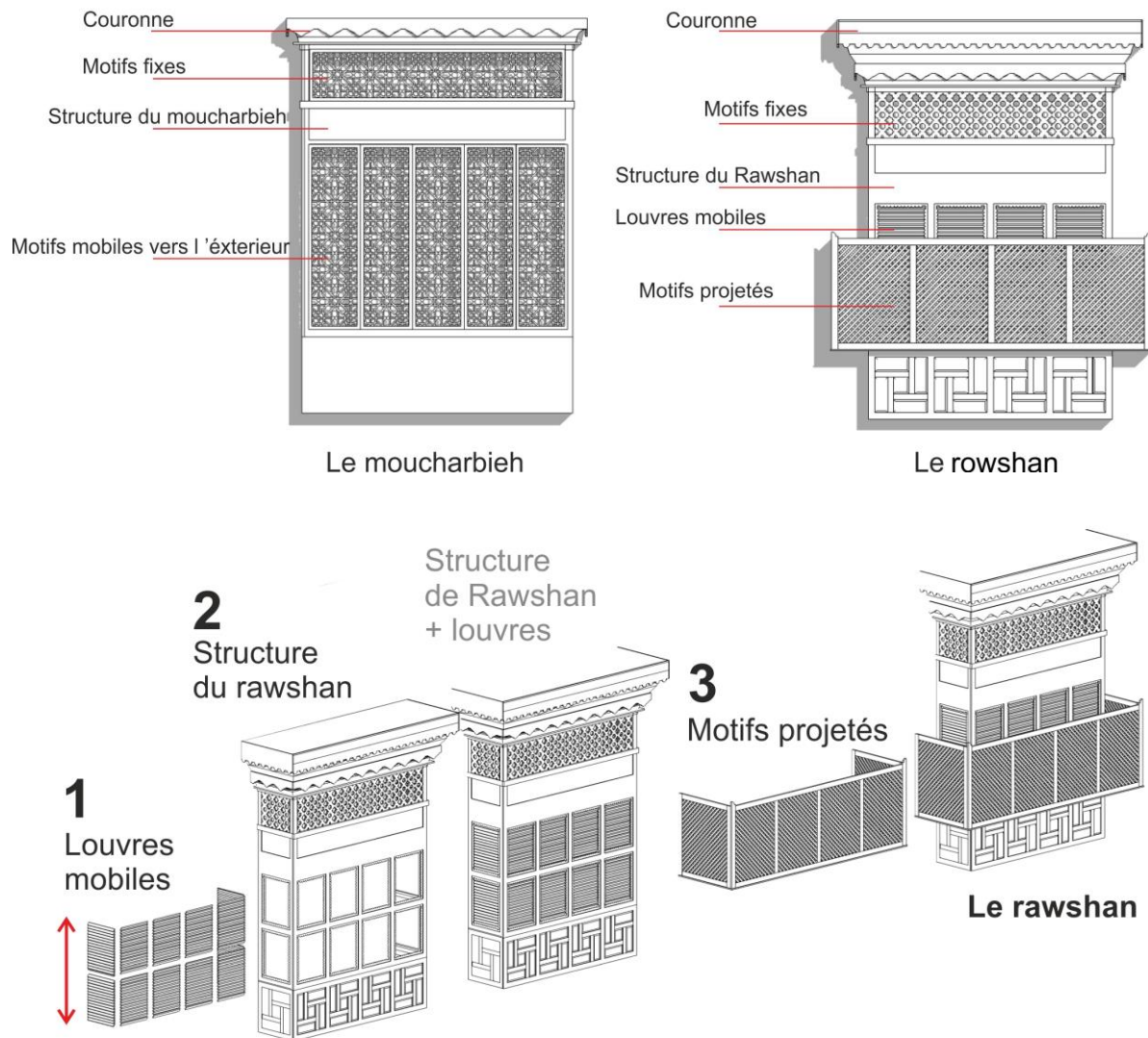


Figure 3-16 : Les différences entre moucharbieh (classique) à gauche et le rowshan (à droite). En bas : les éléments principaux des rowshans ; par l'auteur.

### 3-10-4 Les caractéristiques architecturales esthétiques du Rowshan

- Le Rowshan traduit un prolongement des caractéristiques de l'architecture islamique en termes de simplicité, de conception, de perfection technique. C'est l'unité des éléments de conception de la structure horizontalement ou verticalement :
- Homogénéité des unités décoratives ou ornements (géométriques et végétales),
- Importance accordée au rythme musical des unités de décoration (ou ornements) en termes de redondance, de diversification, d'entrelacements et de chevauchement,
- Maîtrise des espaces vides des surfaces vastes des façades des bâtiments,

- Equilibre ou rythme homogène entre les éléments des ensembles décoratifs (ou ornements) manuels d'une part et l'espace vide d'autre part.

### **3-10-5 Un bref résumé sur le Rowshan et son apparition dans le Hedjaz**

Le choix du Rowshan empêchant de jeter un regard sur l'intimité d'autrui est l'expression d'une spiritualité qui découle d'une vision du monde propre à l'univers islamique. C'est la raison de sa forte propagation dans l'ensemble du monde islamique ce qui d'ailleurs confirme l'unité de pensée, des visions et aspirations islamiques à travers l'art architectural islamique avec ses traits distinctifs malgré la diversification et la variation de ses formes. En effet, ces traits se retrouvent en Inde, au Pakistan, en Iraq en passant par l'Afghanistan et l'Iran ; de même qu'en Turquie, en Syrie et en Palestine. On la retrouve également en Egypte, en Tunisie, au Maroc et en Andalousie (Espagne). Certains chercheurs ont, depuis les premiers siècles de l'ère islamique, mis l'accent sur l'importance du Rowshan comme élément de l'architecture islamique et comme cela fut souligné par certains *Fouquahas* au cinquième siècle de l'hégire (XII<sup>ème</sup> siècle). Ainsi, dans le livre de *Al Sarkhassi*, on peut lire : « aussi pour le Rowshan, le propriétaire de l'étage supérieur peut dévoiler l'intimité de celui qui occupe l'étage en dessous, ce dernier pouvant exiger sa suppression ».

Nous savons tous que la péninsule arabique n'a connu aucune évolution urbaine architecturale depuis l'arrivée de l'Islam et ce pour différentes raisons à la fois religieuses, politiques, économiques et éducatives en plus d'un manque de ressources naturelles et technologiques et d'artisans spécialisés et compétents. Cela explique la propagation dans cette région de modes architecturaux assez simplistes excepté dans la région ouest de la péninsule arabique qui comprend les lieux saints à savoir la Mecque et la ville de Médine. En effet, l'affluence des pèlerins (à l'occasion du *Haj* ou de la *Omra*) en provenant de tous coins du monde islamique, et l'installation de certains d'entre eux dans ces villes va contribuer à l'introduction de cette technique architecturale dans cette région où elle s'est propagée, notamment dans les villes de Djeddah, Al Taïf, Yanbu, la Mecque et Médine.

En raison de l'insuffisance d'écrits qui retracent la naissance de cet art architectural, nous supposons que le rowshan en tant qu'unité de construction architecturale est apparu il n'y a pas très longtemps dans la péninsule arabique particulièrement dans la région ouest puisque

la maison la plus ancienne remonte à huit cents ans c'est-à-dire deux cents ans avant l'ère saoudienne.

Le Rowshan était fabriqué en teck massif, importé de l'Inde, grâce à des outils manuels simples mais également par le recours à des machines modernes réalisant ainsi une économie d'effort et de temps. Mais les ornements sculptés étaient souvent faits à la main.

Du fait d'une grande uniformisation, la mutation ou le boom économique ont entraîné la destruction d'une majeure partie de cet héritage patrimonial culturel ou de ce legs civilisationnel. A la suite de la migration de la population de l'ancienne ville pour s'installer dans des sites modernes, ce qui a été accentué par le manque d'intérêt quant à l'entretien de ces bâtiments destinés désormais à la location ces populations ont détruit ce patrimoine culturel que ce soit de façon intentionnelle ou non intentionnelle.

La maison de Nassif est un exemple encore existant de ce style architectural dont la construction a été achevée en 1881 (1298 de l'hégir). Cette maison existe ainsi depuis 133 années et demeure en bon état.

### **3-10-6 Le Rowshan à l'époque actuelle**

Les nouveaux modèles du Rowshan à l'époque contemporaine sont inévitablement des structures précaires. La préservation du Rowshan dans sa version originale reflétant sa particularité culturelle et sociologique a constitué un lourd fardeau à cause de l'accélération du rythme de développement dans le pays grâce au recours aux nouvelles technologies. Ces dernières ont participé à l'introduction de nouveaux styles architecturaux. Ceux-ci faisaient prévaloir le style occidental qui a tenté d'intégrer les bases architecturales islamiques sous de nouvelles formes.

Les Rowshans contemporains ont plus un aspect décoratif, perdant ainsi leur aspect fonctionnel, utilitaire et esthétique [Figure 3-17]. Ils sont faits de matériaux inappropriés aux changements climatiques des différents cycles saisonniers de l'année. Ainsi, ces modèles de Rowshan se détériorent en moins d'une année après leur installation, ses parties se fragmentent et l'esthétique est déformée. L'image ainsi obtenue défigure non seulement la façade de l'immeuble mais l'histoire même du Rowshan. Un autre phénomène peut être

également relevé celui des modèles de fenêtres s'inspirant des fenêtres classiques espagnoles et françaises, voire un mélange des deux, mais malheureusement mal pensées.

Bukhari écrit à ce sujet : « *Le Rowshan étant par le passé , le poumon de la maison ... les fenêtres sont devenues métalliques ... revêtues de différents types de vitraux lourds colorés qui obscurcissent ce qui est derrière , n'a plus de fonction pneumatique, et l'aspect décoratif ou ornemental de la plupart des formes modernes est exagéré, et est dépourvu d'une touche humaine, parce que ces nouveaux modèles sont le produit machinisme de l'époque contemporaine , et il y a une exagération consistant dans la mise en place de petits balcons en dehors de la fenêtre, un conglomerat d'esthétique excédentaire sans aucune utilité et qui défigure l'image générale de la villa ou la maison ».*



Figure 3-17 : le Rowshan métallique sur une façade contemporaine ;  
[www.al-ramada.com] 2013.

### 3-11 Le moucharabieh et le climat du désert

Le moucharabieh et le climat du désert vont de pair, puisque le désert arabe s'étalant du nord du désert en Egypte en passant par la péninsule arabique, jusqu'à l'Irak, présente le même climat caractérisé par une très forte chaleur et une grave sécheresse. Face à ces conditions climatiques difficiles, l'homme était contraint de développer des moyens de construction pour créer un environnement interne isolé de la chaleur du désert et propice à la vie et à l'exercice de ses activités.

L'exploitation de l'énergie disponible dans l'environnement local a été à l'origine du développement de l'architecture traditionnelle dans le désert par la mise en place de solutions créatives aux problématiques environnementales pour obtenir de meilleures conditions de vie à l'intérieur des espaces architecturaux. Les populations de ces régions ont donc créé des modèles et ensembles architecturaux dont l'efficacité fonctionnelle a enrichi la vie sociale.

Isolée du bâtiment dans son ensemble, la fonction du Moucharabieh peut être difficile à cerner. Il est donc nécessaire de se référer aux méthodes de construction dans le désert. En effet, on construit des murs d'une large épaisseur à partir de la boue. Ces murs vont à leur tour servir de réserve pour stocker la chaleur. Ils vont, en effet, absorber la chaleur intense pendant la journée, et les empêcher d'atteindre la pièce, réduisant ainsi l'échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur qui est très chaud. Pendant la nuit, souvent froide dans le désert, ces murs vont se débarrasser de la chaleur absorbée pendant la journée.

Les ouvertures dans les murs épais, sous forme de petits trous, aux côtés des capteurs d'aération, des hauts plafonds servent à climatiser l'air des locaux et à le refroidir puisque l'air chaud est repoussé vers l'extérieur.

Mais ce système n'était pas assez globalement efficace, puisque les petites ouvertures n'étaient pas suffisantes pour l'éclairage des pièces qui demeuraient des espaces architecturaux assez obscurs et dont la liaison à l'espace urbain extérieur ou même aux demeures voisines était mal assurée.

Le moucharabieh était une solution efficace à ce type de problème puisqu'il empêchait le trop plein de lumière directement projeté sur la pièce accompagné de chaleur excessive de s'infiltrer à travers ses ouvertures. En revanche, il laissait des quantités suffisantes de lumière pénétrer dans la maison. Le moucharabieh permet donc un éclairage d'une grande qualité sans augmenter la température à l'intérieur. Par ailleurs, vu l'augmentation de la surface des ouvertures dans le mur, le moucharabieh a contribué à augmenter significativement le flux d'air, ce qui augmente la ventilation ou l'aération ou la climatisation de l'air des chambres et leur refroidissement.

La beauté de cette œuvre architecturale réside dans le fait qu'elle réunit à la fois la performance fonctionnelle, esthétique et culturelle. Le moucharabieh a en effet ajouté aux

rues une forte valeur esthétique et ce sans compromettre l'intimité de la vie privée des espaces architecturaux que ces structures dérobent aux yeux des passants.

### **3-11-1 La régulation des températures suivant les saisons**

#### **3-11-1-1 En été**

La principale cause de la hausse des températures dans les espaces architecturaux intérieurs est le gain de chaleur direct des rayons du soleil. Il est donc conseillé d'éviter la projection directe des rayons du soleil sur les fenêtres, et de se satisfaire d'un reflet moins intense, qui ne provoque pas de gain de chaleur à l'intérieur.

Puisque le moucharabieh permet de percer de grands trous dans les murs (comme mentionné au début), il est devenu possible pour un flux constant d'air de passer à travers de petites ouvertures dans les chambres. Les habitants se sont habitués à déposer des pots en argile dans le moucharabieh ce qui faisait que l'air qui entrait dans le bâtiment ne perdait de la chaleur que par évaporation d'une partie de cette eau potable. De l'air froid entre relativement dans les chambres.

#### **3-11-1-2 En automne**

La conception des baguettes ou lamelles et des ouvertures du moucharabieh permettent aux rayons du soleil de s'infiltrer à l'intérieur de la maison en automne. En effet, dans la conception de ces ouvertures, on calculait les angles de projection des rayons du soleil en automne (puisque le soleil est plus proche de la terre) ce qui fait augmenter la température et réchauffe la maison. La transformation du moucharabieh d'un outil pour tempérer ou modérer la chaleur du climat à un outil de préservation de la température en automne est un point crucial qui requiert du professionnel et de l'artisan la compréhension complète de la fonction du Moucharabieh et de sa réaction face aux rayons du soleil à travers toutes les saisons.

### **3-11-2 La régulation des flux**

#### **3-11-2-1 Flux de lumière**

Le concepteur doit choisir les distances séparatives et le volume des baguettes ou lamelles adéquat pour le Moucharabieh qui couvre l'ouverture sur la façade pour qu'ils empêchent



les rayons du soleil d'être projetés directement. Au niveau des façades du sud, on utilise un grillage ou un maillage avec de petites distances.

Il doit diminuer l'intensité d'éclairage sur des lamelles de forme circulaire ou cylindrique et sur le contraste entre l'opacité des lamelles (qui ne laissent pas traverser la lumière) et l'intensité de l'éblouissement entre elles. C'est pour ça que l'œil de l'observateur n'est pas ébloui entre le plein et le vide, comme cela pourrait être plus fréquemment le cas lors de l'utilisation de protections solaires contemporaines les plus utilisées en Arabie Saoudite.

Les lamelles du moucharabieh qui sont à la hauteur de l'homme doivent de préférence être proches les unes des autres pour augmenter la réfraction de la lumière qui la traverse, ce qui fait diminuer l'éblouissement résultant des rayons du soleil et des composants du moucharabieh. Pour compenser le manque d'éclairage du niveau inférieur, il est préférable d'accroître la distance entre les lamelles à chaque fois que l'on remonte en haut [*SHAREEF, OLDHAM ET CARTER 2001*].

### **3-11-2-2 Le contrôle (ou la régulation) du flux d'air**

Le maillage du moucharabieh conçu avec des ouvertures assez grandes et claires permet un plus grand flux d'air à l'intérieur de la pièce (chambre). Cependant, lorsque les besoins en termes d'éclairage de la pièce nécessitent de plus petites ouvertures pour diminuer ou réduire l'éblouissement, le débit d'air diminue considérablement. Cette diminution est compensée grâce à des ouvertures plus grandes entre les barres se trouvant dans le niveau supérieur du Moucharabieh. C'est à partir de là que les parties principales du moucharabieh sont apparues :

- Une partie inférieure composée d'un maillage étroit (grillage serré avec des barres ou lamelles très fines).
- Une partie supérieure composée d'un large grillage avec des lamelles en bois assez larges ayant une forme circulaire ou cylindrique (modèle du réservoir ou du cylindre).

Si le calcul du flux ou débit d'air est insuffisant (ou révèle une insuffisance) on peut compenser cette diminution en réalisant une ouverture dans la façade entière que nous couvrirons par un moucharabieh très large [*CITHERLET, 2001*].

### **3-11-2-3 Variation du taux d'humidité du courant d'air**

Elle peut se faire en mettant dans le moucharabieh des pots en terre qui disposent de plusieurs pores. Le passage d'un flux d'air au-dessus de ces pots conduit à l'évaporation de grandes quantités d'eau sur sa surface en raison de la forte porosité, refroidissant ainsi le courant d'air. Ce processus est appelé le refroidissement par évaporation. Ce procédé ne modifie pas la teneur en chaleur de l'air, parce que le refroidissement par évaporation permet de réduire la chaleur latente de l'air et donc augmente l'humidité de l'air.

Toutes les fibres organiques tels que le bois utilisé dans le moucharabieh, absorbent et rejettent des quantités d'eau assez raisonnables et assez facilement tant qu'elle n'est pas couverte ou peinte. Lorsque la température de l'air est froide mais de manière tempérée c'est le cas habituellement pendant la nuit, l'air traversant le moucharabieh en bois perd un peu de son humidité car il est absorbé par les lamelles en bois. Lorsque le moucharabieh est réchauffé grâce aux rayons de lumière projetés sur lui directement, l'air qui le traverse perd de son humidité. On peut utiliser cette technique pour augmenter (ou accroître) l'humidité de l'air sec au cours des journées chaudes, et refroidir l'air et l'humidifier dans les moments où ce besoin se fait le plus ressentir [*MOZAFFARIAN, 2009*].

Les distances entre les lamelles du Moucharabieh ont des valeurs absolues et relatifs optimales, qui dépendent de la superficie des surfaces exposées à l'air, et du débit d'air le traversant, de sorte que l'augmentation de la surface de la lamelle conduit à une augmentation du refroidissement et de l'humidification.

En outre, une grande lamelle d'une large surface plane a plus de capacité pour absorber la vapeur d'eau et refroidir l'air grâce à l'évaporation de l'eau sur sa surface. De même que sa capacité à absorber l'eau est plus grande, ce qui lui permet de poursuivre le processus de libération de la vapeur d'eau par évaporation pendant une plus longue durée de temps [*SHERIF, 2012*].

## **3-12 Conclusion**

Après une étude approfondie des théories concernant les vieilles villes arabes par des chercheurs des principes et des stratégies de construction pour le logement privé, notre première hypothèse suggère que l'efficacité de cette architecture traditionnelle n'était pas

le fruit du hasard et qu'elle offrait à ses usagers, - en particulier par le biais des éléments de façades (moucharabieh, rowshan), un maximum de confort physique et socio-culturel avec le minimum de technologie.

On constate que l'écrasante majorité des écrits sur le Rashwan et le Moucharabieh dans les anciennes constructions abordent le thème du confort social qui subit constamment l'influence des traditions, des coutumes et du système de vie adopté. En revanche, le thème du confort matériel du point de vue de l'éclairage et des considérations thermiques est relayé à un niveau secondaire. Ainsi, on détaille les points positifs de façon hypothétique, sans aucune démonstration, à travers des études techniques et une évaluation des résultats obtenus. Lorsqu'on sait surtout que la recherche dans ce domaine est assez vaste et d'une grande importance à l'époque actuelle et ce, en vue de procéder à une comparaison et à une évaluation des éléments de confort social et matériel des éléments architecturaux. On peut également procéder à une planification pour arriver à des points de convergence entre ces deux aspects du confort pour les faire évoluer et les développer dans l'architecture locale.

## Chapitre 4

---

### **LA STRUCTURE URBAINE ET LE MODE DE DISTRIBUTION SPATIALE DES LOGEMENTS DANS LA VILLE SAOUDITE**

## 4-1 Introduction

La recherche sur le thème de « *la ville Arabo- Islamique* » est un thème qui suscite l'intérêt de nombreux historiens, urbanistes et chercheurs dans le domaine de l'architecture islamique. En effet, un certain nombre d'entre eux furent impressionnés par cet héritage architectural et par la nature et les éléments de l'environnement urbain de ces vieilles villes, notamment par les quartiers résidentiels, la structuration des espaces vides entre des espaces publics, semi-privés et privés, mais également par les éléments architecturaux, les matériaux utilisés dans la construction, ainsi que par les aspects sociaux de ces anciennes villes (Figure 4-1 et Figure 4-2).



**Figure 4-1 : gauche : espace public et privé dans une ville Arabo-islamique traditionnelle ; [Ragette, 2006] ; retracé par l'auteur. Figure 4-2 : droite : cour dans une maison à Bagdad, avec loggia ou Ivan, des balcons au premier étage et Badgir sur le toit ; par l'auteur d'après [Oliver, 2007].**

Ces scientifiques et chercheurs ont étudié les parties construites de ces anciennes villes islamiques ainsi que leurs caractéristiques architecturales en vue de dégager des définitions précises et des fondements théoriques qui expliqueraient la nature de l'aspect ou du modèle urbain de ce milieu et les raisons de leur enracinement dans le modèle urbain des villes modernes du monde arabo-islamique.

Alors que ces études théoriques se poursuivent, nous constatons que les villes modernes du monde arabo-islamique connaissent une croissance régulière et doivent faire face à un ensemble assez complexe de problématiques urbaines, économiques, sociales, institutionnelles et techniques (Figure 4-3).



**Figure 4-3 : photo aérienne de la ville de Hofuf en Arabie Saoudite montrant des bâtiments et des quartiers contemporains fluage vers les fermes. C'est une transformation progressive en quartiers résidentiels ; [Akbar, 1992].**

C'est pour cette raison que les spécialistes dans l'étude des villes islamiques se trouvent eux-mêmes partagés entre, d'une part, l'aspect architectural et le cadre social, économique et environnemental des anciennes villes arabo-islamiques, et, d'autre part, les villes arabes modernes, et ce, avec toutes les préoccupations architecturales et les contraintes nécessitant un traitement objectif et pratique excluant toute subjectivité, voire romantisme [TELMISANI, 1989].

Il existe, par ailleurs, des chercheurs qui rejettent la réalité actuelle des villes arabes modernes, partant du principe qu'elles contrediraient ou qu'elles sont incompatibles avec les bases du mode architectural et urbain ainsi que le cadre social et économique qui est répandu dans les anciennes villes arabes [FATHY, 1986].

A l'opposé, un autre courant recherche la modernité et souhaite, ainsi, accompagner la marche du développement à travers la participation à la mise en place de lois et de législations concernant les villes modernes « *Industrial Cities* », mais également à travers la mise à disposition de moyens de confort et de commodité sur le plan urbain et architectural mais sans une grande prise en considération de la notion de durabilité. Ils se limitent d'autant plus à faire apparaître les anciens éléments architecturaux sans aucune

connaissance ni une certaine évaluation de ces équipements en termes d'efficacité. Cette situation contribue, dès lors, à augmenter l'écart entre les partisans des deux conceptions et tend à limiter les chances de parvenir à un cadre de travail favorisant la continuité des divers systèmes architecturaux dans les villes arabes, anciennes ou modernes [AKBAR, 1992] (Figure 4-4).



**Figure 4-4 : projet « Dubaï l'ancienne région », un des projets contemporains dans les pays du Golfe. Les éléments de décoration de l'architecture traditionnelle ont été copiés sur un nouveau projet ; par [CHAUDHARY photographe, 2013].**

Nous pensons qu'il est indispensable de comprendre la nature de chacun des modèles urbains dans les villes arabes, qu'elles soient anciennes ou modernes, ainsi que les raisons de l'existence de différences entre ces deux modes. Ce sera, dès lors, le point de départ de cette recherche afin de parvenir à déceler les aspects positifs et négatifs de l'architecture ancienne et moderne dans le Royaume d'Arabie Saoudite, ainsi que les conséquences de la transformation des milieux construits sur les espaces habités et plus précisément les logements et les quartiers résidentiels.

Dans les prochains chapitres, nous procéderons dans cette recherche à une analyse expérimentale d'une ville arabe, la ville de Djeddah en Arabie Saoudite qui reflète, en effet, plusieurs aspects urbains, partant de l'ancien au moderne. Nous nous intéresserons à la structure urbaine, à ses divers éléments, aux effets de l'existence d'espaces vides internes dans les constructions, plus particulièrement au niveau des logements, ainsi qu'à l'évaluation des éléments et des équipements de confort et ce d'un point de vue social et physique – en ne s'intéressons qu'au *confort hygrothermique et au confort visuel*. Nous

aborderons, également, la question de la durabilité qui sera évaluée au niveau de l'ancienne ville arabe.

Un certain nombre de valeurs et de principes directeurs peuvent développer l'architecture locale contemporaine et accroître sa performance et son efficacité d'un point de vue social et environnemental. Dans cette étude, nous nous appuierons donc sur une mise en parallèle entre le principe de confort dans les logements contemporains actuels et une évaluation de la performance des logements traditionnels.

Pour y parvenir, plusieurs hypothèses ont été émises dans cette recherche, en vue de leur analyse pour s'assurer de leur efficacité. L'hypothèse majeure de cette étude est le fait que les éléments de façade régulent le confort climatique dans l'habitat ainsi que la satisfaction de l'utilisateur, notamment socio-culturel avec l'intégration des notions d'intimité et de sécurité que ces éléments procurent. D'autres hypothèses ont été formulées et se résument à ce qui suit :

- L'existence d'une différence radicale entre les villes traditionnelles et les villes industrielles.
- L'existence de l'architecture traditionnelle et l'évolution de ces villes ne sont pas le fruit du hasard.

Dans le cadre de l'analyse de ces hypothèses, nous avons procédé à l'étude des facteurs environnementaux et urbains participant au processus de construction de la ville ainsi qu'à la définition du principe de confort dans l'espace habité. Nous entendons par ce principe : le confort social dans les logements traditionnels et modernes à travers une évaluation des critères du confort dans les espaces internes par l'utilisation du système « *Post Occupancy Evaluation* »<sup>23</sup>, le confort physique et la délimitation des critères du confort à travers une étude portant sur le tissu urbain traditionnel et moderne et la délimitation des facteurs

---

<sup>23</sup> The process of evaluating buildings in a systematic and rigorous manner after they have been built and occupied for some time.



d'influence des systèmes de planification sur le travail et l'efficacité des façades des habitations construites et la détermination de ses qualités.

## 4-2 Le mode de développement des communautés humaines en Arabie Saoudite

Situé sur l'latitude 16° et 23° sud et sur la longitude 35° et 55° est, le Royaume d'Arabie Saoudite s'étend sur une superficie de 2,25 millions de kilomètres carrés. Le pays connaît un des plus faibles taux de densité démographique dans la région du moyen orient avec une population qui a atteint 29,2 millions d'habitants dont 7 millions d'étrangers. La densité de la population varie, dès lors, entre 12 à 13 habitants par km<sup>2</sup> [CIA WORLD FACTBOOK, 2013], (Figure 4-5 et Figure 4-6).

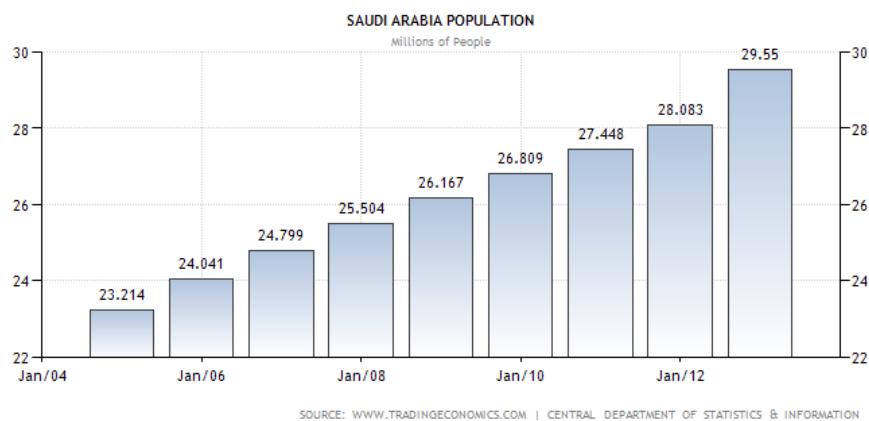


Figure 4-5 : la population d'Arabie Saoudite ; [<http://www.tradingeconomics.com>].

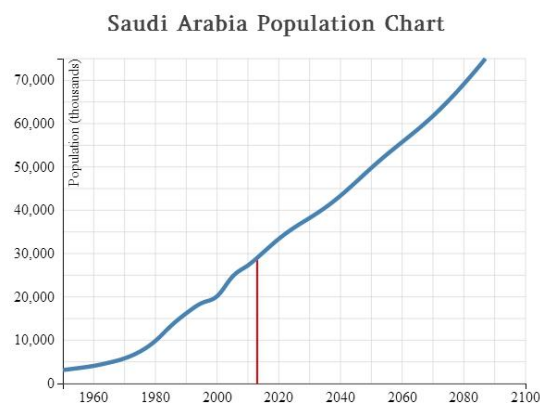


Figure 4-6 : la population devrait augmenter à l'avenir. Elle est susceptible d'atteindre 36,73 millions en 2030 et devrait atteindre 44,76 millions en 2060. Le taux de croissance, cependant, devrait diminuer ; [www.worldpopulationstatistics.com](http://www.worldpopulationstatistics.com)

Le Royaume d'Arabie saoudite est divisé en six provinces géographiques comprenant le désert du Rub al Khali, les déserts du centre et du nord, occupant 50% du territoire national, la plaine de Najd à 32%, les chaînes de montagne du Hidjaz et de l'Assir à 7%, Tehamah supérieure et Tehammah de la côte ouest qui représentent 2% et où se situe la ville de Djeddah, en plus des régions basses orientales à 5% et enfin les plaines du nord à 4% (Figure 4-7).

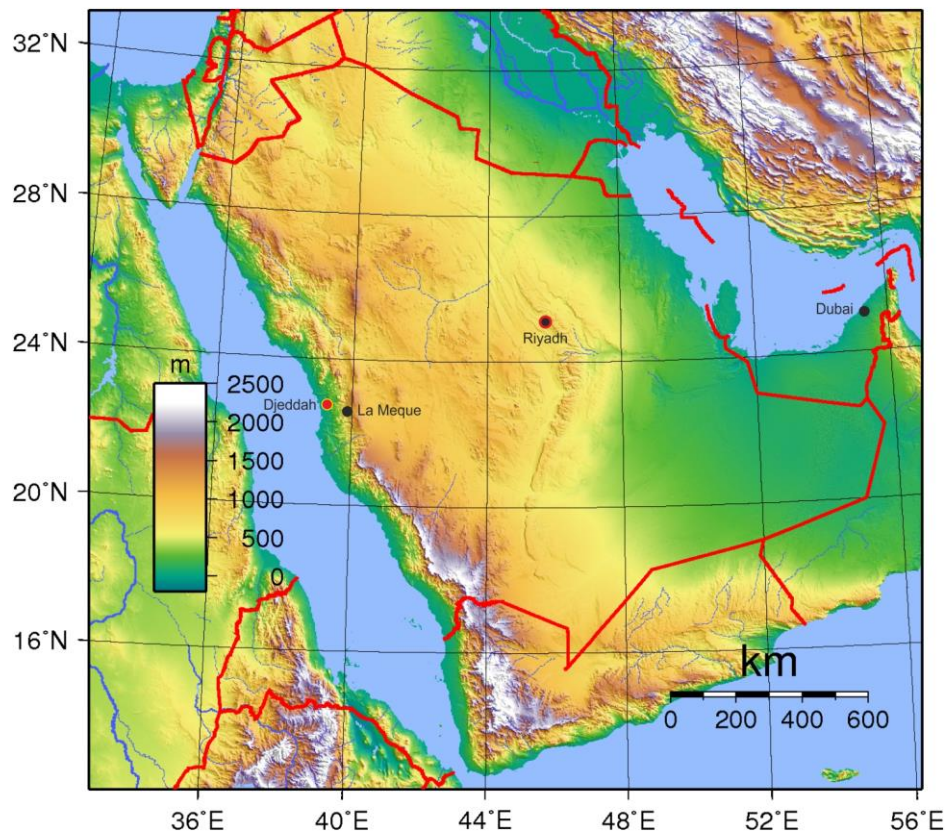


Figure 4-7 : Carte topographique d'Arabie Saoudite ; [<http://www.worldofmaps.net/>, 2014].

Le désert du Rub' al Khali eut un effet considérable dans le mode de peuplement géographique et les modes de communication entre les premières communautés humaines qui se sont installées dans la région de Najd et du sud qui étaient les communautés agricoles. Il eut, également, un impact sur la concentration des premières habitations et la répartition de la population entre la région du Hidjaz et de l'Asir, les plaines de Tihama et la région côtière occidentale et dans les régions de distribution des eaux au centre et à l'ouest de la péninsule arabique [AL-HATHLOUL, 2003]. L'impact de ces reliefs géographiques est, jusqu'à présent, très visibles non seulement dans le mode actuel d'habitation mais également au niveau de la forme et du modèle urbain de nombreuses villes et village en Arabie Saoudite. (Figure 4-8).

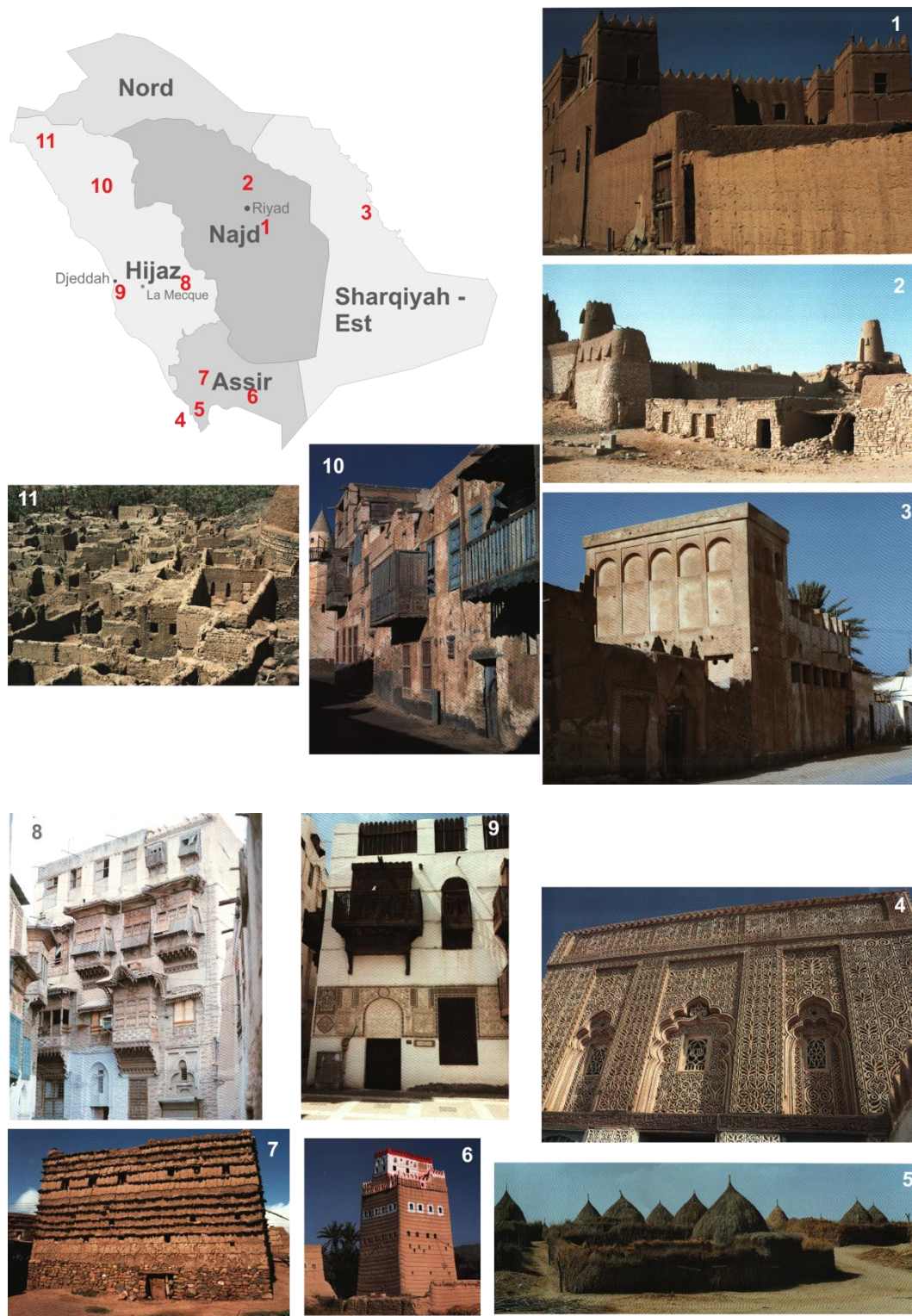


Figure 4-8 : formes architecturales de nombreuses villes et villages traditionnels en Arabie Saoudite ; par l'auteur d'après [KING, 1998].



## 4-3 Les premiers travaux d'implantation des communautés humaines

Les premières formes d'implantation dans cette région ont eu lieu dans l'ère préislamique sur les bords des anciennes voies commerciales et avec l'islam sur les bords des chemins empruntés par les pèlerins. Elles étaient sous forme d'oasis sur le long de deux axes, le premier du sud au nord, le second de l'est à l'ouest de la péninsule arabique. Les anciennes voies commerciales ainsi que les voies empruntées pour le transport des épices et du café traversaient la région du Hidjaz située entre Djeddah et la Mecque et qui s'étend jusqu'au nord de la péninsule arabique. Le tracé de ces routes fut à l'origine de l'apparition et du développement des villes actuelles afin de servir les caravanes commerciales [DEQUIN, 1976]. Avec l'apparition de l'islam, de nombreux pèlerins affluaient sur la région de la Mecque, en provenance non seulement de la péninsule arabique mais également du nord de l'Afrique et de l'Asie. Les routes, ainsi, empruntées par les premiers pèlerins sont depuis devenus les principaux axes de développement des installations humaines à nos jours [ALHATHLOUL ET EDADAN, 1993], (Figure4-9).

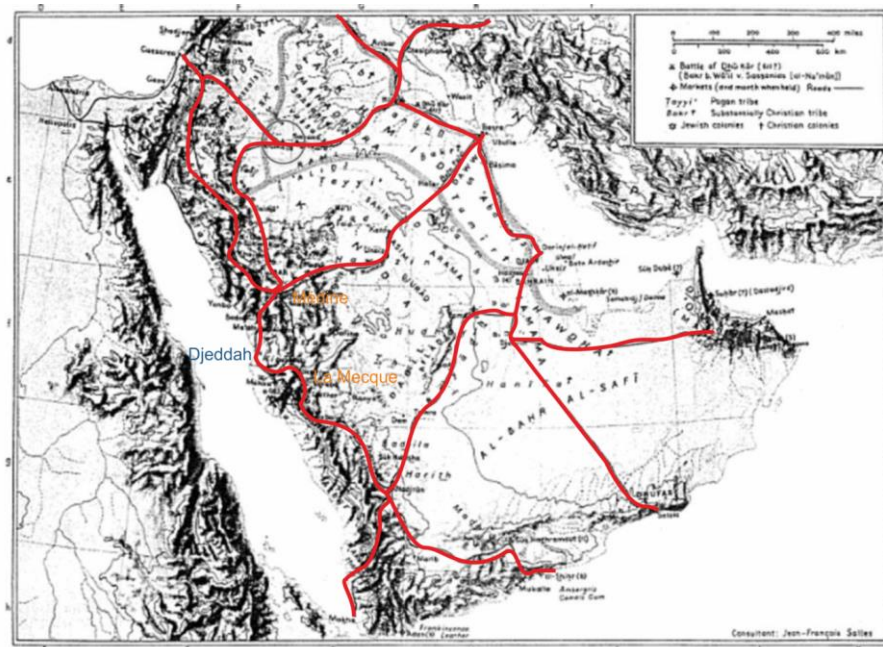


Figure 4-9 : les anciens chemins commerciaux à la péninsule arabe ; par l'auteur d'après [Falcon, 1974] .

## 4-4 L'accélération du rythme d'urbanisation

La découverte du pétrole au vingtième siècle, l'apparition de villes pétrolières construites pour des raisons de défense militaire, ainsi que la mise en place d'une infrastructure moderne pour le transport, sont des facteurs qui ont eu une influence directe sur le mode d'habitation ce qui a eu un effet sur la composition sociale et économique de ces sociétés et le peuplement des milieux ruraux. Lors des quarante dernières années, le développement s'est concentré sur un nombre limité de villes et ce en dépit de la stratégie de l'Etat favorisant un développement régulé de constructions et la mise en place d'un système de développement sectoriel [ALHARBI, 1989].

L'Arabie Saoudite a connu un processus d'urbanisation à la fin des années trente du siècle dernier correspondant au début de l'exportation du pétrole. Malgré l'existence de milieux urbanisés et de centres de population urbaine particulièrement sur les bords des routes commerciales et des anciens chemins empruntés par les premiers pèlerins, et ce avant l'unification du royaume, son influence sur les régions environnantes fut limitée en raison de la faiblesse de leurs structures économiques.

La production du pétrole, l'édification de villes pétrolières et commerciales et la transformation de nombreux petits villages, qui étaient auparavant de simples villages dont l'activité était soit en centres commerciaux quasi-inexistante, soit tournait autour de l'activité de la pêche ou, a entraîné un accroissement du niveau d'urbanisation qui s'est vu multiplié par 14, voire par 15 dans la période comprise entre 1950 et 1990. Le taux d'urbanisation est, ainsi, passé de 10% en 1950 à 77 % en 1992. Cette période est un moment clé dans la mise en place de la nouvelle planification des villes. C'est ce constat que nous nous apprêtons à faire à propos de la ville de Djeddah qui sera le lieu de la présente recherche [ALHATHLOUL ET EDADAN, 1993].

Les raisons de la croissance du processus d'urbanisation en Arabie Saoudite résident dans l'abondance des ressources économiques, la croissance naturelle de la population et le manque d'une main d'œuvre nationale qui a nécessité le recrutement d'une main d'œuvre étrangère. Cette régularité s'explique, également, par l'existence d'une demande de plus en plus croissante de travailleurs qualifiés et semi-qualifiés dans les villes ayant entraîné une hausse du taux de migration vers les villes, qu'il s'agisse de flux migratoires internes ou

externes au pays, ainsi qu'à l'amélioration des conditions de transport et de communications [AL-LYALI, 1990].

L'indice d'urbanisation révèle que la région occidentale est la plus urbanisée sur l'ensemble des régions du royaume. La ville de Djeddah est la plus importante en termes d'urbanisation et d'accueil des flux de migration [TELMISANI, 2001].

Le mode de peuplement urbain dans le Royaume d'Arabie Saoudite se caractérise par la concentration de la population dans trois principaux axes urbains, Riyad dans la région centrale, Djeddah et la Mecque dans la région occidentale. C'est ce qui ressort des résultats du recensement de 2012 qui évalue la population installée dans ces principales villes à 40% de la population du Royaume. Cette étude révèle, également, la concentration des emplois urbains dans ces villes. Par ailleurs, la région urbaine de Dammam, incluant la ville de Dammam, Khobar, Dhahran, Jubail et Al-Ahsa, est également un des axes de développement les plus actifs du Royaume (Figure 4-10).

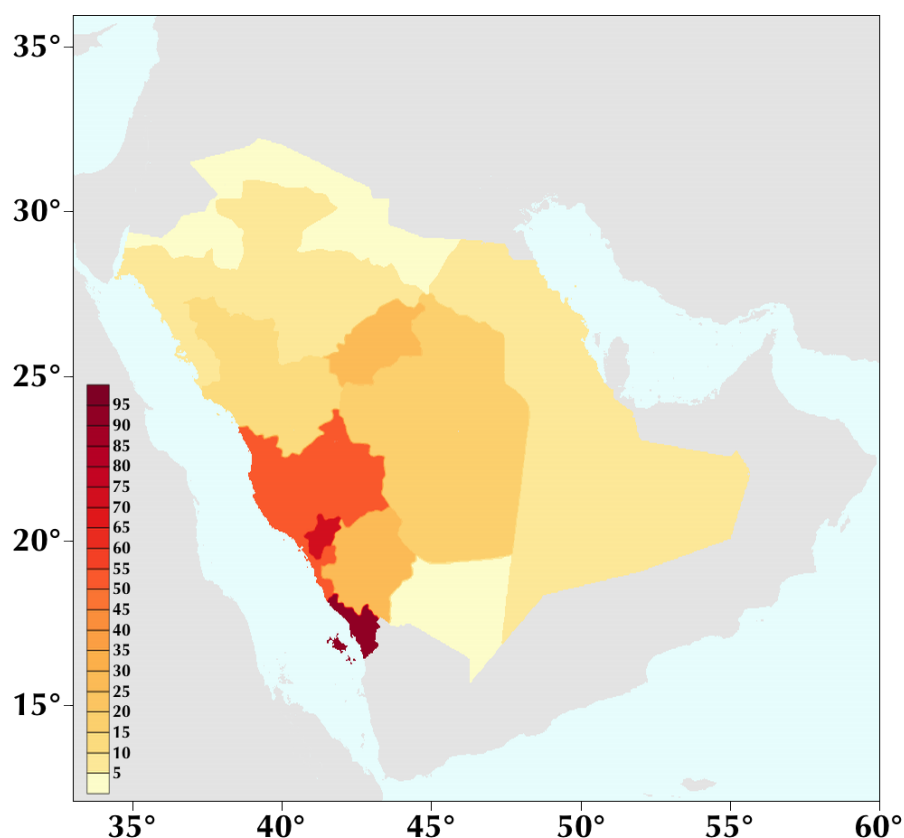


Figure 4-10 : densité de population en Arabie Saoudite ; [Giorgiog, 2010].

## 4-5 Conséquences de la rapidité de la croissance urbaine en Arabie Saoudite

Une des conséquences de la rapidité de la croissance urbaine dans le Royaume a été l'expansion considérable et non ordonnée des constructions dépassant les capacités techniques et administratives des services de planification locales. De même que l'absence de coordination horizontale entre les services exécutifs au niveau local et le manque de compétences techniques pour gérer et rationaliser la croissance urbaine ont conduit à une absence d'efficacité en termes de planification et de développement sectoriel des villes saoudiennes. Cela a entraîné une défaillance partielle en terme de compétence des institutions locales pour gérer et pour diriger le développement des villes. L'héritage culturel et social exerce toujours un rôle considérable dans l'organisation du développement des villes qui dépasse parfois l'intérêt qui devrait être porté au développement urbain pris dans une perspective globale.

Le Royaume doit faire face à plusieurs défis en terme de planification, parmi lesquels on peut citer l'existence de plusieurs terrains vacants, planifiés, et utilisés à l'intérieur des villes. Il existe en même temps plusieurs régions en manque de services, d'organisation et de réhabilitation ; de même qu'une demande croissante pour une répartition des terres du fait de la spéculation foncière et de l'utilisation de ces terrains comme marchandise sans une prise en compte des besoins d'expansion spatiale des villes (Figure 4-11).



Figure 4-11 : terrains résidentiels au nord de la ville de Djeddah, nous constatons que les terrains sont libres ; [Google map, 2013].

## **4-6 L'architecture et l'urbanisation dans une perspective historique**

En 1999, William FRISBIE [*FRISBIE, 2001*] a expliqué (dans son étude sur l'urbanisation considérée dans une perspective historique) le mode de relation entre l'homme et l'environnement car il existe plusieurs exigences essentielles pour l'existence et le développement des villes. En effet, les villes, sous leurs premiers aspects ou modèles, ont nécessité une évolution des connaissances techniques et technologiques ainsi que la présence d'un milieu géographique favorable pour l'installation et une stabilité relativement permanente de la population qui ne produit pas sa nourriture. Sont apparus, ensuite, des villes sur les rives des vallées en raison de la fertilité de leur sols et de l'abondance des eaux pour l'irrigation ainsi que de la facilité du transport des marchandises. Les premières de ces villes sont apparues dans les vallées du Nil, du Tigre, de l'Euphrate et des fleuves indiens. Mais les avantages initiaux qui avaient accompagné l'apparition de ces villes n'étaient pas suffisants pour donner lieu à une urbanisation plus importante.

Comme mentionné par William FRISBIE, « une des exigences de l'urbanisation complète des communautés est l'existence d'un excédent agricole apte à couvrir les besoins d'une population et à les exempter de la production alimentaire et qui leur fournit une stabilité démographique permanente ». Le passage d'une société agraire (agricole) à une société urbaine et industrielle requiert la production d'un excédent à l'origine du cumul capitaliste pour investir dans le secteur industriel.

## **4-7 Les traits les plus distinctifs des formes et configurations architecturales contemporaines**

Compte tenu de l'importance du rôle exercé par l'État dans le processus de croissance urbaine, des dépenses massives engagées en vue de la modernisation et du développement de la société saoudienne, les villes saoudiennes ont suivi, dans le cadre de leur formation et de leur croissance, des schémas de réseau (grille ou trame) autour de l'ancienne ville (la médina) qui n'étaient pas entièrement structurés (Figure 4-12).



La modernisation et le développement de ces réseaux se sont produits en ayant recours à des méthodes et à des techniques urbaines occidentales. Ce recours a entraîné la formation d'un modèle urbain disparate dépourvu de toute considération quant aux valeurs et aux règles d'organisation du milieu urbain traditionnel [MUBARAK, 1998].



Figure 4-12 : vue aérienne des nouveaux quartiers de la ville de Djeddah, Source :[Jeddah Stratigic Plan 2008].

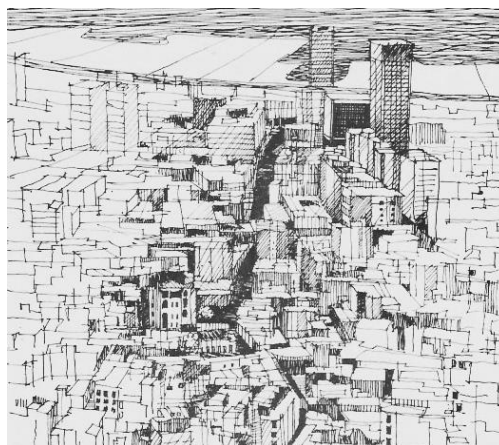
A la lumière de la nouvelle politique d'administration centralisée de l'Etat, l'organisation spatiale de la nouvelle ville ainsi que la répartition des terrains au niveau des quartiers ne sont plus désormais basées sur le principe de l'autogestion (par la famille, la tribu ou le maire) comme ce fut le cas dans les anciennes villes, les féodalités ou les milieux traditionnels [RAGETTE, 2007]. En effet, la vie dans les nouveaux quartiers résidentiels dépend de facteurs économiques tels que la capacité financière à payer et la disponibilité de prêts au logement octroyés par le Fonds de développement immobilier ainsi que la distribution des terrains avec le consentement de l'Etat [BOKHARY, 1983].

Il est possible de retracer le processus d'émergence et de développement des formes et configurations urbaines contemporaines dans la ville saoudienne. Habituellement c'était un développement circulaire autour d'un hyper-centre représenté par l'ancienne masse urbaine (ancienne ville) avec l'introduction de quelques aménagements destinés à faciliter le déplacement des véhicules comme nous aurons ainsi l'occasion de le constater dans le cadre de notre étude portant sur la ville de Djeddah (Figure 4-13).



**Figure 4-13 : le plan de la ville de Djeddah : la vieille ville. Source : Conservation of Jeddah Old Town ; [RC Heritage 2010].**

Nous avons assisté, au cours de cette phase d'urbanisation traditionnelle, à une propension à construire des édifices plus ou moins de grands. Ensuite, compte tenu de l'amélioration des revenus étatiques provenant du commerce pétrolier, le calendrier de l'exode rural a pris des proportions considérables après notamment l'augmentation des dépenses en matière de développement dans les différentes villes saoudiennes. Cette situation va, ainsi, contribuer à bouleverser la répartition spatiale des habitants (Figure 4-14).



**Figure 4-14 : dessin à la main de la ville historique de Djeddah dans les années soixante démontre des immeubles de grande hauteur modernes, qui étaient considérés comme des monuments de l'évolution de la ville ; [Robert Mathew, 1968].**

De nouveaux matériaux ainsi que de nouveaux moyens techniques ont été utilisés dans la construction. Ces nouvelles modifications ont eu un impact négatif sur les bâtiments existants dans l'ancienne ville qui, désormais, est devenue une sorte de quartier de taudis menaçant de s'écrouler à tout moment. Cette situation va d'ailleurs contraindre les anciens habitants de ces villes à quitter leurs demeures pour s'installer dans les nouveaux quartiers.

Au cours de cette phase intermédiaire de transition, le rythme de la croissance a été tellement rapide qu'il n'a pas favorisé la mise en œuvre d'un contrôle assez suffisant et adéquat de la dynamique de construction et d'édification. A cela, il convient de rajouter le fait que cette période a connu l'émergence des quartiers dits « *de boîte* »<sup>24</sup> abritant les migrants en provenance des milieux ruraux.

Ensuite, au cours des années 1950, nous avons assisté à l'émergence d'un nouveau style architectural : celui de la « *villa* » avec ses détails architecturaux donnant sur l'extérieur comme mode indépendant de logement favori des hautes personnalités de la société. Ce mode d'habitation est devenu un symbole reflétant le statut social d'une catégorie de la population (Figure 4-15). Nous avons, en outre, assisté à l'apparition d'une autre forme de logement celle des bâtiments collectifs comprenant plusieurs appartements et ce sur les axes principaux de la ville notamment les boulevards pour répondre ainsi aux besoins d'une population de plus en plus dense (Figure 4-16).



**Figure 4-15 : modèle pour la villa en Arabie Saoudite des années soixante, c'était une évolution des bâtiments ; [Ben Saleh, 2002].**

---

<sup>24</sup> Ce sont des constructions précaires à base de plaques en bois utilisées comme abris par les migrants en provenance des campagnes



Figure 4-16 : la ville de Taïf - Arabie Saoudite en 1958. Le début de l'expansion de la ville et des quartiers résidentiels à l'extérieur des murs de la ville ; [OKAZ, 2003].

Dans les années soixante du siècle dernier, les constructions sous forme de villa vont se multiplier y compris parmi dans la classe moyenne. Il s'agit de la classe qui est apparu et s'est développée grâce au travail dans le secteur public. Cette période a également connu une augmentation des dépenses publiques en matière de développement. C'est en effet au cours de cette même période que fut conclu le contrat avec le consultant **Robert Matthew** pour la mise en place d'un plan de la ville de Djeddah [LENCH, 1998].

Les années 1970 ont été marquées par une forte expansion des banlieues de manière inhabituelle en raison des subventions gouvernementales ainsi que du soutien octroyé par le Fonds de développement immobilier relatif au logement en sus des programmes de logements dans des zones éloignées des centres ville [ALHARBI, 1989].

Le développement des logements dans les banlieues a atteint son apogée dans les années 1980 avec une distribution de terrains aux personnes à revenu limité mais également grâce à l'augmentation du nombre de personnes ayant acquis un véhicule. Dès lors, les familles à faible revenu ont pu résider dans les banlieues et à la périphérie de la ville.

La fin des années quatre-vingt a vu l'apparition de quartiers abritant une population à faible revenu sur les grands axes de même que les bâtiments construits grâce aux prêts du fond immobilier saoudien ont commencé à s'étendre à des zones extérieures ne disposant pas d'équipements et installations municipales [TELMISANI, 1998].

Durant cette période, l'intérieur de la ville va voir l'apparition de constructions avec un aspect architectural moderne ainsi que des quartiers résidentiels de luxe. L'Etat a également lancé de grands projets et d'énormes complexes commerciaux, «*Mall*» et immeubles, conçus selon un style architectural contemporain, des immeubles avec des façades en verre et totalement dédiés à une activité de bureaux, ont été édifiés [MUBARAK, 1998]. Toutes ces caractéristiques dessinent les traits d'une renaissance globale et rapide.

En conclusion, à l'époque moderne, la formation des villes et du tissu urbain a été basé sur « *le véhicule* » comme critère de conception. Le but poursuivi était, en effet, de créer un réseau de circulation automobile permettant de relier tous les points de la ville surtout lorsqu'on apprend que la voiture constitue jusqu'à nos jours le seul mode de transport à l'intérieur des villes et ce sans égard à la question des distances entre le centre de la ville et le logement. C'est ce que nous pouvons constater lors de l'analyse de nos cas d'étude portant sur la détermination des éléments décisifs quant à la qualité de cadre de vie et du confort dans les logements et les espaces vides.

## **4-8 Effets de la législation dans la formation des milieux traditionnels**

Avant la révolution industrielle, et à la lumière des techniques disponibles à cette époque, les villes alors existantes sur l'échelle planétaire avaient réussi à conserver leur volume dans des proportions assez raisonnables en terme de circulation. C'est, d'ailleurs, l'une des caractéristiques des villes d'avant la révolution industrielle. En effet, l'absence des moyens de transports et de communication, à cette époque, avait entravé le développement et l'expansion de ces villes.

Il n'en reste pas moins que la compréhension du système de transformation urbain requiert une étude approfondie de la culture locale. L'étude et l'analyse de l'évolution de l'architecture islamique, nécessitent, en effet, préalablement une véritable connaissance des valeurs religieuses, du cadre et des principes culturels ainsi que des règles de comportements sociaux qui régissent l'environnement culturel traditionnel. Ces données ont en effet une incidence très significative dans la constitution et la modélisation des milieux architecturaux dans les villes du monde islamique. De nombreux spécialistes et passionnés

par l'étude portant sur l'orient ont, d'ailleurs, insisté sur l'influence qu'ont exercée les valeurs et les principes éducationnels islamiques sur les actes et les attitudes des hommes dans la région ainsi que sur le tissu architectural des villes islamiques [*FATHY, 1986*].

L'existence de la société islamique est fondée sur le respect des règles et préceptes de la loi islamique à la lumière des interprétations et de la jurisprudence des oulémas et des dignitaires religieux d'une part, et sur leur application par les dirigeants du pays, d'autre part [*EISENSTADT & SHACHAR, 1987*]. Ces oulémas appliquaient les principes de la gouvernance environnementale urbaine et procédaient au règlement des litiges en puisant dans les sources du droit musulman à savoir le Coran et les hadiths<sup>25</sup>.

Parmi ces problèmes, nous pouvons citer les litiges relatifs à la propriété immobilière, ceux relatifs à la conception des issues, fenêtres et portes des habitations de façon à préserver l'intimité et assurer le respect de vie privée des voisins. L'application de la législation islamique a entraîné des effets dans la formation des milieux et des formes architecturales traditionnels dans la ville islamique à travers ce qui suit.

#### **4-8-1 Les principaux usages des terres**

Le prophète Muhammad a eu recours dans la construction de la ville de Médine, première ville dans l'islam, au système de la planification. Ce système ou processus a été poursuivi par les califes musulmans en Asie et en Afrique. Les quartiers dans la ville ancienne se sont formés suivant le système de la planification. On procédait, ainsi, à l'organisation des parcelles de terres et à la délimitation de l'emplacement du marché principal autour de la mosquée comme ce fut l'usage à l'époque du prophète [*HAKIM, 1986*].

La législation islamique représente un facteur décisif dans le processus de formation, de transformation et de division des terres dans les quartiers au sein des villes arabo-musulmanes. Nous pouvons citer, à titre d'illustration, le droit de préemption des voisins qui se voient reconnaître la priorité quant à l'acquisition d'une maison voisine mise en vente par

---

<sup>25</sup> Définition : une communication orale du prophète de l'islam Mahomet et par extension un recueil qui comprend l'ensemble des traditions relatives aux actes et aux paroles de Mahomet et de ses compagnons, considérés comme des principes de gouvernance personnelle et collective pour les musulmans, que l'on désigne généralement sous le nom de tradition du Prophète.



son propriétaire. L'exercice de ce droit a contribué à la préservation de l'identité sociale propre à chaque quartier. Les règles successorales organisant le partage des terres et l'attribution de rang à chaque héritier sont un autre exemple illustrant le rôle majeur qu'a exercé la législation islamique dans le processus de formation des quartiers arabes à l'intérieur de la ville.

La législation islamique détaille en effet les règles et principes d'une répartition équitable de la succession (patrimoine mobilier ou immobilier) entre les héritiers du défunt. Elle prévoit, entre autre, la possibilité d'organiser des espaces vides communs qui servent de passage entre les subdivisions secondaires de l'immeuble en fonction des contraintes d'accès aux partis de l'immeuble.

La conception qu'avait la population de la propriété des terres et du droit de servitude exercé sur les cours se trouvant devant les propriétés a eu un impact dans la formation des routes et des rues sinueuses et étroites qui caractérisent le modèle de développement urbain dans les villes arabo-islamiques [AKBAR 1992].

#### **4-8-2 Les espaces de circulation**

La largeur des rues et des ruelles la plus minime dans la ville arabo- islamique correspond à 3,23 mètres soit 7 coudées (ancienne unité de longueur : distance entre le coude et le bout du majeur, soit environ 50 cm, qui a été fixée par le prophète tel que rapporté par le *hadith*). S'agissant du bétail, cette largeur devait s'évaluer à 20 coudées entre les étages d'une construction, la largeur des ruelles passant à 4 coudées, ce qui était suffisant. Les « *Fouquahas* »<sup>26</sup> ont ainsi déterminé la hauteur des voies selon ce qui suffit au passage d'un homme chevauchant un chameau [HAKIM, 1986], (Figure 4-17).

---

<sup>26</sup> spécialistes du Fiqh qui signifie jurisprudence.

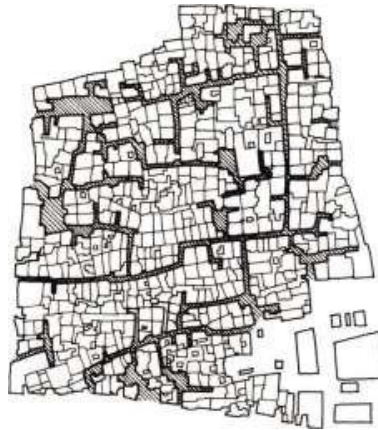


Figure 4-17 : un quartier résidentiel détaillé dans la vieille ville d'Al-Hasa - Arabie Saoudite montre la hiérarchie des rues et des espaces ; [Ben Saleh, 2002].

### 4-8-3 La suppression du préjudice ou du dommage

Le principe est celui de l'absence de troubles du voisinage qui peuvent être occasionnés notamment par des usages diversifiés et disparates des terrains ou des éléments urbains.

Ce principe a été élaboré par les *fouquahas* en puisant dans deux sources : le coran et les hadiths (recueils de textes et actes du prophète) notamment l'expression du prophète « *la darrar wa la dirar* » qui signifie littéralement « *l'absence de causalité d'un préjudice à autrui et à soi-même* ». Ce principe a été décisif dans la détermination des emplacements alloués à un certain nombre d'activités notamment professionnelles, artisanales et industrielles dans des zones à l'écart des logements dans la ville arabo-musulmane.

La législation islamique a, également, garanti la protection du voisin et son droit au respect de son intimité et de sa vie privée à travers le mode de conception des issues, portes et fenêtres. Selon l'imam Malik « *un voisin n'est pas en droit de causer un préjudice à son voisin quant bien même son acte s'inscrit dans les limites de son droit de propriété* » [ALHATHLOUL, 1981].

## 4-9 L'environnement urbain dans la ville arabo-musulmane

### 4-9-1 Gestion de l'environnement

Les opinions et jugements des précédents *fuquahas* ont eu un impact dans la formation des milieux urbains et traditionnels dans les villes arabo- islamiques. Pour assurer



l'application de ces règles et dispositions, les juges et les « *Mohtassibs*<sup>27</sup> » ainsi que leurs remplaçants, eurent un rôle décisif dans la garantie de l'organisation des opérations de construction et d'édification ainsi que dans la protection de l'intérêt général dans les milieux urbains traditionnels [*IDRIS, 1995*].

Le juge avait comme responsabilité notamment le contrôle des constructions comme ce fut le cas en Tunisie où le juge ou son représentant habilité à sortir dans les rues et les routes, pour faire cesser les préjudices et dégâts occasionnés découverts à l'occasion de ces sorties. Il peut s'agir par exemple de l'existence de murs menaçant de s'écrouler ou de murs fissurés, quand bien même aucune plainte ne serait provenue du voisinage.

A Médine, les procédures judiciaires comprenaient la mesure de la largeur des rues et des routes devant les maisons destinées à être reconstruites afin de s'assurer de l'absence de toute violation du droit de passage du public causée par les constructions et les ailes qui pourraient empiéter sur l'espace des voies publiques et des allées mais également de l'absence de toute atteinte à la vie privée ou à l'intimité des voisins [*BEN SALEH, 1997*].

On rapporte aussi le fait que les juges faisaient appel à la compétence des gens disposant d'une certaine expertise technique pour avoir leur avis dans les litiges relatifs aux troubles ou préjudices causés ou ceux relatifs à la contestation de la propriété ainsi les actes relatifs aux « *Waqf* »<sup>28</sup> ou biens de main-morte. Il peut, ainsi, s'agir d'un problème d'échange, de location, de reconstruction d'un bien sous le régime du waqf [*AL-SAYYAD, 1996*].

A la lumière des règles et des jugements contenus dans la législation islamique, les habitants jouissaient d'une grande autonomie dans la gestion de leurs affaires et de leurs quartiers. Ainsi, ils pouvaient profiter du droit de construire leurs maisons et de la possibilité de profiter des cours et ruelles étant donné qu'il s'agissait d'espaces vides ouverts semi-privés dont les voisins pouvaient profiter mutuellement. En cas de conflit entre voisins, le

---

<sup>27</sup> Personnes volontaires non rémunérées dont le travail est guidé par le principe de la promotion de la vertu et la prévention du vice.

<sup>28</sup> Désigne en droit musulman un bien immobilier inaliénable que le propriétaire transforme en waqf ; c'est-à-dire qu'il bénéficie de l'usufruit du bien durant sa vie et que cet usufruit est transmis à sa mort au sein du groupe familial auquel il appartient. Lorsque la lignée des bénéficiaires vient à s'éteindre, le bien est affecté à des œuvres charitables ou pieuses que le fondateur du waqf a pris soin de désigner dans l'acte constitutif.

contentieux était résolu par le recours aux règles de la charia ou législation islamique qui constitue le cadre légal de résolution des litiges [ABU-LUGHOD, 1987].

L'utilisation exemplaire par les habitants des techniques de construction alors disponibles et l'attention particulière qu'ils ont porté aux limites environnementales du site ainsi que l'importance qu'ils accordaient aux normes de la législation islamique « *Charia* », ont eu toutes un rôle important dans ce que nous percevons aujourd'hui comme une similitude entre les habitats islamiques traditionnels.

#### **4-9-2 Les caractéristiques urbanistiques traditionnelles et leur impact sur la formation des constructions**

L'environnement urbain saoudien présentait plusieurs caractéristiques, à savoir:

- L'autonomie dans la gestion de ses affaires locales.
- Une autosuffisance économique.
- Les formes traditionnelles et le développement exonéré des terrains considérés comme une source sociale de revenu contrairement à la période contemporaine qui connaît une sorte de marchandisation des terrains.
- Le développement organique provenant de l'environnement et de la parfaite connaissance de l'état de la société.
- La solidarité sociale pour construire l'habitat familial malgré la différence de revenus entre les familles.
- Un sens collectif de responsabilité assez élevée de la part des habitants quant à la mise à disposition de services et d'équipements collectifs avec un minimum d'intervention officielle.

#### **4-9-3 La gestion semi-locale et la supervision étatique**

Les milieux urbains traditionnels jouissaient d'une faculté de gestion quasi autonome de leurs affaires intérieures. Ainsi, les habitants exerçaient leurs droits dans l'organisation de la croissance locale de leur société sous la supervision du « *Wali* » gouverneur ou du prince de la ville.

La structure urbanistique comprenait des quartiers où résidaient de grandes familles représentées par un ensemble de nobles et de hautes personnalités que les princes avaient l'habitude de consulter à propos des affaires locales ou celles relatives aux zones extra-muros. Suivant ce mode traditionnel de gouvernance, les dirigeants locaux s'appuyaient à la fois sur leur appréciation personnelle des faits, des règles et normes de la charia islamique ainsi que sur la consultation d'experts et de personnes à haut niveau d'instruction ou de potentiel intellectuel parmi les habitants.

Parfois, l'autorité des princes pouvait avoir une certaine influence sur les tribus et les communautés rurales avoisinantes. Ainsi, c'est sur la base du compromis et du respect des usages répandus que s'est formé le périmètre urbanistique traditionnel laissant une place très minime à toute intervention officielle [AKBAR, 1988].

La planification et la conception des milieux urbanistiques sont le fruit des normes et principes sur le fondement desquels les milieux urbains traditionnels ont été bâtis ainsi que des techniques traditionnelles de construction que la société locale a constamment tenu à respecter. Cette société faisait donc appel aux connaissances techniques, aux compétences ainsi qu'aux ressources qui étaient à leur disposition (Figure 4-18).



Figure 4-18 : deux environnements urbains différents en Arabie saoudite, la première photo dans l'ancienne ville de Djeddah, la deuxième photo (droite) dans la ville d'Abha ; [Shalabi, 2008] ; [Ben Saleh, 2002].

L'utilisation des terres dont la majorité était à usage d'habitation était limitée en comparaison avec les environnements urbains contemporains. Les liens de parenté<sup>29</sup> ont par ailleurs exercé une influence beaucoup plus importante que celles des prix des terrains dans la formation des quartiers résidentiels et dans l'environnement urbain traditionnel. L'utilisation des techniques à disposition à cette période dans la société traditionnelle explique également le rapprochement des formes et configurations urbanistiques.

L'absence des moyens de transport explique de son côté la non-prolifération ou diffusion urbaine et c'est la caractéristique la plus répandue dans les constructions traditionnelles dans l'Arabie Saoudite. S'agissant de l'espace blanc ouvert à la circulation, celui-ci était à la fois étroit et proportionnel d'un point de vue fonctionnel au mouvement humain [KING, 1998].

Au niveau des constructions individuelles, la conception architecturale était cohérente avec les valeurs et les traditions de la vie sociale islamique qui étaient d'usage au sein de la communauté et dont l'impact s'est exercé sur la globalité des formes et configurations urbaines de la ville. Les issues, les fenêtres ainsi que les portes ont été conçues sur la base d'une prise de conscience implicite du respect de l'intimité du voisinage [RAGETTE, 2007].

Par ailleurs, la conception intérieure des espaces habités a reflété l'importance accordée aux aspects climatiques, familiaux et écologiques. Les logements étaient, en effet, situés dans des complexes proches les uns des autres sur des parcelles de terrains qui n'étaient pas organisées, ceci d'une part. En outre, un réseau de routes et de passages sinueux et ombragés existait afin d'atténuer la chaleur estivale dans les milieux comprenant des habitats situés dans le désert. Et ce, contrairement, aux nouveaux dispositifs et technologies de maîtrise des ambiances hygrothermiques (telles que la climatisation et l'isolation

---

<sup>29</sup>La parenté comprend, d'une part, la parenté par les liens du sang (en ligne directe et collatérale) et, d'autre part, la parenté par alliance. La parenté par le sang qui peut être en ligne directe, c'est à dire entre les personnes qui descendent l'une de l'autre - ainsi le fils est, à l'égard du père ou du grand père- ou en ligne collatérale entre les personnes qui ne descendent pas les uns des autres, mais d'un auteur commun -ainsi le lien entre les cousins ou entre l'oncle et son neveu. S'agissant de la parenté par alliance, celle-ci résulte du mariage qui, en effet, participe à l'élargissement du périmètre de parenté par la création de nouvelles unités familiales entre différentes communautés.

thermique) actuellement mises en service dans les villas résidentielles modernes ainsi que les constructions qui sont de plus en plus écartées les unes des autres, laissant par conséquent des interstices modifiant les conditions microclimatiques.

*« Le développement des formes et configurations urbaines est perçu comme le résultat d'un ensemble de décisions exécutives convergentes ainsi que des traditions et des usages révélés et respectés par la société » [FATHY, 1986].*

On ne disposait, donc, d'aucune stratégie élaborée avec des utilisations bien déterminées et comprenant un programme d'exécution. Il n'y avait pas non plus de systèmes, ni de règlements ou d'instructions générales (des instructions royales par exemple). L'expansion urbaine n'était pas très importante et il n'existait pas dans le passé de schémas de planification générale. Autrement dit, aucune des normes contemporaines de planification urbanistique n'existait auparavant.

On peut, ainsi, affirmer que l'existence de systèmes de transport moderne ainsi que d'une interférence organisée de l'Etat dans les domaines de la planification, de la conception et la croissance urbaine étaient perçues avant la découverte du pétrole comme un horizon très lointain. De manière générale, la possibilité d'affecter les terres à de nouveaux usages, à usage d'habitation ou pour une destination commerciale ou agricole, ne pouvait avoir lieu que si les droits des parties affectées par cette nouvelle destination étaient assurés [AKBAR, 1992],. Dans le tableau ci-après (tableau 4-1) une comparaison entre le milieu urbain traditionnel et le milieu urbain contemporain est effectuée.

PRINCIPES REGULATEURS	MILIEU TRADITIONNEL	MILIEU CONTEMPORAIN
ADMINISTRATION GOUVERNEMENTALE	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Principautés, dignitaires, hautes personnalités mondaines</li> <li>– Décentralisation</li> <li>– <b>Au niveau régional:</b> Autorité politique de la ville Interaction moindre avec le centre politique.</li> <li>– <b>Au niveau de la ville:</b> autorité traditionnelle contribuant dans la prise de décision Autogestion des quartiers résidentiels.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Royale et citoyenne</li> <li>– Centralisée</li> <li>– <b>Au niveau régional :</b> Une hiérarchie pyramidale des régions administratives et les provinces et les centres.</li> <li>– <b>Au niveau de la ville elle-même:</b> Adoption d'un Emir ou du gouverneur de la province, dans la coordination aux ministères et organismes publics spécialisés tels que la municipalité, la police, l'éducation, la santé, etc</li> </ul>
ECONOMIE	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Agricole et pastorale et maritime</li> <li>– Marchés simples dispersés</li> <li>– Zakat<sup>30</sup> sur l'argent et la production.</li> <li>– secteur informel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Economie nationale et pétrolière qui s'auto- complète</li> <li>– excédents urbain(e)s varié(e)s basé(e)s sur les revenus du pétrole à travers l'allocation d'une enveloppe budgétaire annuelle par l'Etat</li> <li>– Secteur officiel</li> </ul>
CONCEPTION ET PLANIFICATION URBAINE	<ul style="list-style-type: none"> <li>– initiatives locales</li> <li>– croissance automatique et spontanée</li> <li>– régi par les traditions, les usages et les principes et valeurs</li> <li>– Provient de son environnement même, interagit avec et y répond.</li> <li>– global</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Activité centralisée</li> <li>– descendant</li> <li>– Technique (fonctionnelle)</li> <li>– Intrus (suivant le style occidentale)</li> <li>– Individuel (sur le plan architectural)</li> </ul>

<sup>30</sup> Est le troisième des piliers de l'islam. Le musulman est tenu de calculer chaque année lunaire (hégire) ce montant et de le donner aux plus pauvres dans son pays de résidence.

<p><b>POSSESSION ET DISTRIBUTION DES TERRES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– la terre comme source sociale de revenu</li> <li>– certains quartiers disposent de parcelles de terrains non organisées</li> <li>– Leur division répond aux règles successorales telles que prévues par la législation islamique</li> <li>– l'exercice du droit de préemption préserve l'identité des quartiers en limitant l'acquisition par des personnes étrangères au voisinage</li> <li>– Les constructions délimitent la forme des parcelles de terrains, c'est ainsi que se forment les quartiers dans la ville</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– la terre comme marchandise</li> <li>– large expropriation des terrains et l'évaluation de leurs valeurs</li> <li>– absence de parcellement des terrains à surface plus réduite</li> <li>– un développement des terres vierges s'appuyant sur une invasion réelle et les spéculations du marché</li> </ul>
<p><b>POSSESSION DE LOGEMENTS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– S'opère grâce à un financement collectif et personnel (solidarité sociale)</li> <li>– La majeure partie des matériaux de construction est produite localement. Ces matériaux peuvent être, parfois, importés grâce au système de l'échange commercial</li> <li>– Absence d'organisation des parcelles de terrains</li> <li>– Famille élargie (modèle familial très étendu)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grâce à l'emprunt (consenti par les banques privées)</li> <li>– Grâce aux prêts subventionnés pour le logement</li> <li>– Importation de la majorité des matériaux de construction</li> <li>– Famille nucléaire (très réduite autour du couple et de leurs enfants)</li> </ul>
<p><b>EQUIPEMENTS PUBLICS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entretien du quartier par les habitants</li> <li>– Services et aides fournis grâce à l'institution des waqf<sup>31</sup></li> <li>– Une intervention limitée des autorités gouvernementales dans les affaires locales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assurés par le gouvernement</li> </ul>

**Tableau 4-1 : Comparaison des principes organisationnels des milieux urbanistiques traditionnels et contemporain<sup>32</sup>.**

<sup>31</sup> Une donation faite à perpétuité par un particulier à une œuvre d'utilité publique, pieuse ou charitable. Le bien donné en usufruit est dès lors placé sous séquestre et devient inaliénable.

<sup>32</sup> Ce tableau a été développé d'après [Mubarak 1998].

D'après l'étude faite dans ce chapitre, on a pu conclure qu'il y a une différence entre urbanisme contemporain et urbanisme ancien, il y a en effet un grand changement entre les deux types d'architecture, au delà de choix socio-culturels ou physiques, ces énormes changements sont du en particulier au gouvernement, à l'économie et aux initiatives locales.

Nous mènerons une étude de cas dans la deuxième partie afin d'élaborer un programme d'évaluation qui s'accorde parfaitement avec les objectifs de cette recherche portant sur le domaine du confort au niveau de l'habitat dans le milieu local ainsi qu'à l'examen et l'analyse des résultats. Et ainsi pouvoir, en conclusion, formuler des recommandations pour parvenir à des solutions générales et réunir ainsi toutes les conditions aptes à procurer un environnement urbanistique équilibré qui prend en compte la notion durabilité.

Nous allons dans la deuxième partie de notre recherche indiquer les méthodes d'évaluation de l'efficacité et de la performance des bâtiments en terme d'efficacité tant sociale que climatique ou encore environnementale. Nous analyserons aussi les impacts sur la consommation d'énergie. Pour cela nous mettrons en exergue les théories de la première partie avec le cas de la ville de Djeddah, sélectionnée pour sa richesse architecturale, bénéficiant des deux types d'architecture recherchés.



## **PARTIE 2**

### **Chapitre 5**

---

#### **ANALYSE DE CAS : LA VILLE DE DJEDDAH**

## 5-1 Histoire et contexte

Djeddah Gouvernorat se situe approximativement au niveau de la partie centrale du littoral de la Mer Rouge en Arabie Saoudite. La zone cartographiée s'étend le long de la côte, 60 km de longueur et 40km de largeur, bornée par les latitudes 21°15'00" et 21°55' 00" N, et les longitudes 39° 00'00" et 39°30' 00" E.

Djeddah était habitée il y a environ 2500 ans en tant que petit port de pêche et a longtemps été un pôle marchand et marin. La ville était déjà un port historique dans le commerce des épices quand le Calife Othman bin Affan<sup>1</sup> l'a déclarée comme port officiel pour les pèlerins musulmans faisant la route vers les Villes Saintes de La Mecque et Médine en 1249. Cela a marqué un tournant pour le futur de Djeddah, pas seulement grâce aux possibilités commerciales accrues mais aussi grâce à l'arrivée des pèlerins de par le monde, dont certains sont restés dans la ville et ont posés les fondations d'une Djeddah cosmopolite [KING, 1998].

Les Ottomans ont conquis Djeddah durant leur expansion vers le Moyen-Orient vers l'an 1494 et ont construit des murs de pierre autour de la ville afin de la fortifier contre les attaques des Portugais. Elle restera une ville fortifiée jusqu'à ce qu'elle soit libérée de la domination turque. Suite à la suppression des remparts en 1947, la population de la ville, alimentée par l'immigration, a rapidement grandi. Entre 1947 et 1987, la croissance démographique était en moyenne de 9,5% par an.

L'histoire de Djeddah, son emplacement et son rôle unique par rapport au Hajj (une des plus grandes migrations saisonnières humaines) ont contribué à modeler sa forme urbaine et son profil démographique. Elle attire des travailleurs immigrants et des pèlerins de tout le monde islamique, la ville est perçue comme un lieu d'opportunités.

La croissance rapide de la population (naturelle et migratoire) pendant les quatre dernières décennies a coïncidé avec l'énorme accroissement de richesses du Royaume. En conséquences la ville de Djeddah s'est étendue à un rythme sans précédent.

Cette expansion était en partie due à la réussite limitée de l'aménagement du territoire et des cadres réglementaires qui ont tenté de restreindre le développement de certaines zones de la ville.

Sans une réglementation efficace et une approche stratégique coordonnée, l'aire urbaine de Djeddah a grandi au-delà des capacités de ses infrastructures, ce qui a conduit à des problèmes structurels pour l'approvisionnement en eau, de la gestion des eaux usées et des routes. Cette croissance a aussi laissé également de grandes quantités de terrains en friche et une dépendance aux véhicules particuliers (Figure 5-1).

Peut-être le plus important on observe, un échec à répondre à la demande de logements abordables de la part de plus d'un million de personnes, soit un tiers de la population de la ville, vivant dans des bidonvilles.

Dans le même temps, beaucoup des ressources les plus précieuses de Djeddah n'étaient généralement pas protégées de façon adéquate. Une des plus importantes, le littoral de la Mer Rouge, a été rendu inaccessible par la construction du port, de grandes routes et du développement d'espaces clos privés.



Figure 5-1 : Expansion historique de Djeddah ; [Djeddah Strategic Plan 2007].

Le développement inconscient, la pollution, la grosse consommation d'énergie et le manque de sensibilité environnementale ont endommagé l'environnement marin de Djeddah, pendant que les vestiges du patrimoine remarquable de la ville, en particulier Al Balad<sup>33</sup> ont dé péri (Figure 5-2).



Figure 5-2 : Situation actuelle à la médina en 2013 ; Modifié par l'auteur.

Pendant ce temps, les styles architecturaux des nouveaux immeubles ont changé, souvent en maximisant l'impact des constructions qui ont affecté l'architecture et les conceptions traditionnelles.

Des mesures provisoires ont aidé la ville à poursuivre sa croissance économique et sa prospérité. Les petits manques d'infrastructures ont été compensés par des solutions localisées telles que des réservoirs d'eau ou des fosses septiques [PESCE, 1974].

---

<sup>33</sup> Al Balad : la Medina

## 5-2 Population et démographie

La population totale de Djeddah est estimée aux alentours de 3 800 000 habitants [WORLD BANK STATISTICS, 2013] et en 2029 elle devrait avoir augmenté à plus de 5 000 000 (Figure 5-3). La population totale est composée de 52% de ressortissants saoudiens et 48% de ressortissants étrangers, ce qui démontre la diversité démographique de la ville. La répartition de la population saoudienne de Djeddah est à peu près équivalente entre les hommes et les femmes mais la population non saoudienne quant à elle est majoritairement composée d'hommes reflètent le grand nombre d'expatriés travaillant ici sans leur famille, ce qui engendre le fait qu'il y ait plus d'hommes que de femmes dans la population totale. Le profil est globalement jeune : approximativement 40 % de la population a moins de 19 ans [DJEDDAH STRATEGIC PLAN, 2007].

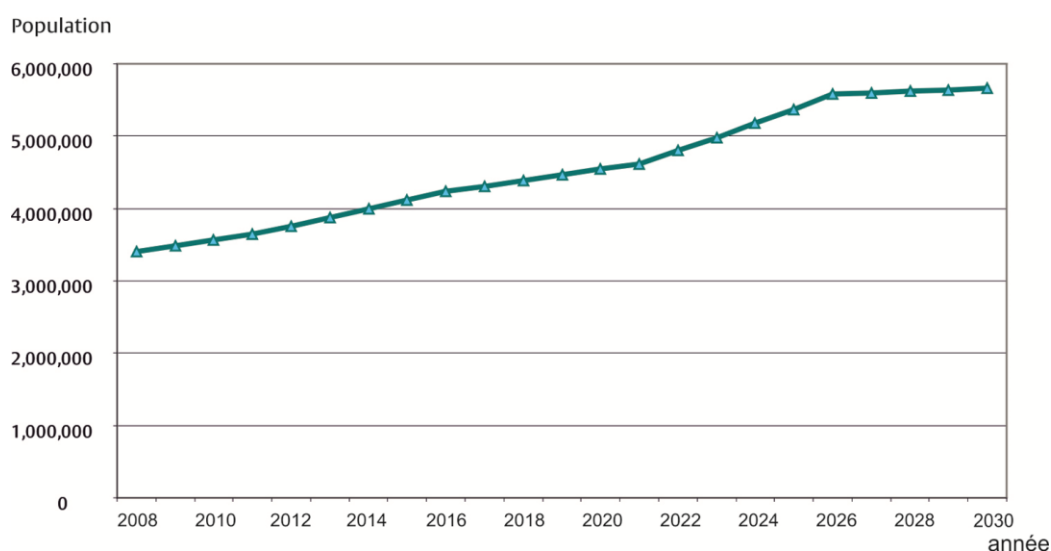


Figure 5-3 : croissance de la population à Djeddah : world bank statistics (2004).

## 5-3 L'économie de Djeddah

Djeddah, la région environnante de La Mecque et le Royaume d'Arabie Saoudite devraient tous connaître un changement économique notable au cours des 20 prochaines années. Une croissance démographique rapide, une plus grande ouverture à l'économie mondialisée et une nouvelle répartition de l'emploi et de la richesse vont créer la nécessité d'une économie diversifiée. L'économie de Djeddah doit générer des emplois de haute valeur et durables pour une grande proportion de la population adulte.

L'économie de la région de Djeddah reste forte. Le produit intérieur brut (PIB) de la région la Mecque, pour qui Djeddah et La Mecque sont les moteurs économiques, est de 217,5 milliards de SAR (43 milliards d'euros), le troisième plus grand dans le Royaume. L'économie de Djeddah s'est diversifiée autour d'activités liées au port islamique de Djeddah et au réseau mondial de l'entreprise islamique [DJEDDAH STRATEGIC PLAN, 2007].

## 5-4 Les caractéristiques naturelles de Djeddah

Djeddah est situé sur la côte orientale de la mer Rouge, au point de Latitude 29,2° Nord, et de Longitude 39,7° Est. Sur la côte de la mer Rouge, Djeddah, attaché aux montagnes Sarawat, est considéré comme faisant partie de la plaine Tihama et la dépression des collines Hedjaz. À l'ouest, on y retrouve la mer Rouge, célèbre pour ses récifs coralliens, anciens obstacles à la navigation jusqu'à ce qu'ils soient déplacés il y a un certain temps et que l'entrée du port ne soit agrandie.

### 5-4-1 Le climat

Le climat de Djeddah est plutôt chaud, aride et désertique, avec de rares précipitations en saison printanière. D'après une étude réalisée par le Ministère de la Défense et de l'Aviation entre 1961 et 1990, les températures peuvent atteindre un maximum de 49°C entre Mars et Août, et un minimum de 17,3°C entre Janvier et Février (Tableau 5-1).

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Record high °C (°F)	34.5 (94.1)	36.0 (96.8)	40.2 (104.4)	44.5 (112.1)	48.2 (118.8)	49.0 (120.2)	45.0 (113)	44.0 (111.2)	48.0 (118.4)	44.5 (112.1)	39.0 (102.2)	36.0 (96.8)	49 (120.2)
Average high °C (°F)	29.0 (84.2)	28.8 (83.8)	31.1 (88)	33.4 (92.1)	35.4 (95.7)	36.9 (98.4)	37.6 (99.7)	37.2 (99)	36.1 (97)	35.0 (95)	32.3 (90.1)	29.8 (85.6)	33.55 (92.38)
Daily mean °C (°F)	25.0 (77)	23.5 (74.3)	25.1 (77.2)	27.6 (81.7)	29.6 (85.3)	30.3 (86.5)	32.4 (90.3)	32.1 (89.8)	30.7 (87.3)	29.1 (84.4)	27.0 (80.6)	24.7 (76.5)	28.09 (82.57)
Average low °C (°F)	21.0 (69.8)	18.4 (65.1)	20.1 (68.2)	22.1 (71.8)	24.1 (75.4)	24.9 (76.8)	26.3 (79.3)	27.1 (80.8)	25.9 (78.6)	23.8 (74.8)	22.2 (72)	19.9 (67.8)	22.98 (73.37)
Record low °C (°F)	11.4 (52.5)	11.5 (52.7)	11.0 (51.8)	13.5 (56.3)	16.4 (61.5)	20.0 (68)	20.5 (68.9)	22.0 (71.6)	17.0 (62.6)	15.6 (60.1)	15.0 (59)	11.4 (52.5)	11 (51.8)
Rainfall mm (inches)	13.9 (0.547)	5.6 (0.22)	1 (0.04)	5.1 (0.201)	1.5 (0.059)	0 (0)	0.2 (0.008)	0 (0)	0 (0)	2.4 (0.094)	11.9 (0.469)	11.9 (0.469)	53.5 (2.107)
% humidity	73	61	60	60	60	61	57	62	69	67	64	59	62.8

Tableau 5-1 : Données climatiques de la ville de Djeddah ; Source: [NOAA 1961-1990].



### 5-4-1-1 La température

Selon la météo de l'aéroport de Djeddah (2013) et l'analyse de ces données par AUTODESK ECOTECH<sup>34</sup>, au cours d'une année la température varie généralement de 18°C à 39°C et est rarement inférieure à 16°C ou supérieure à 41°C. La saison chaude s'étend de mi-mai à 10 Octobre avec une température quotidienne moyenne de 37°C. La journée la plus chaude de l'année en 2013 a été le 17 Juin, avec une température moyenne élevée de 39°C et un minimum de 26°C.

La saison froide s'étend du mi-Décembre à fin Février avec une température haute quotidienne moyenne de 30°C. Le jour le plus froid de l'année 2013 a été le 13 Janvier, avec une température basse moyenne de 18°C et haute de 29°C (Figure 5-4).

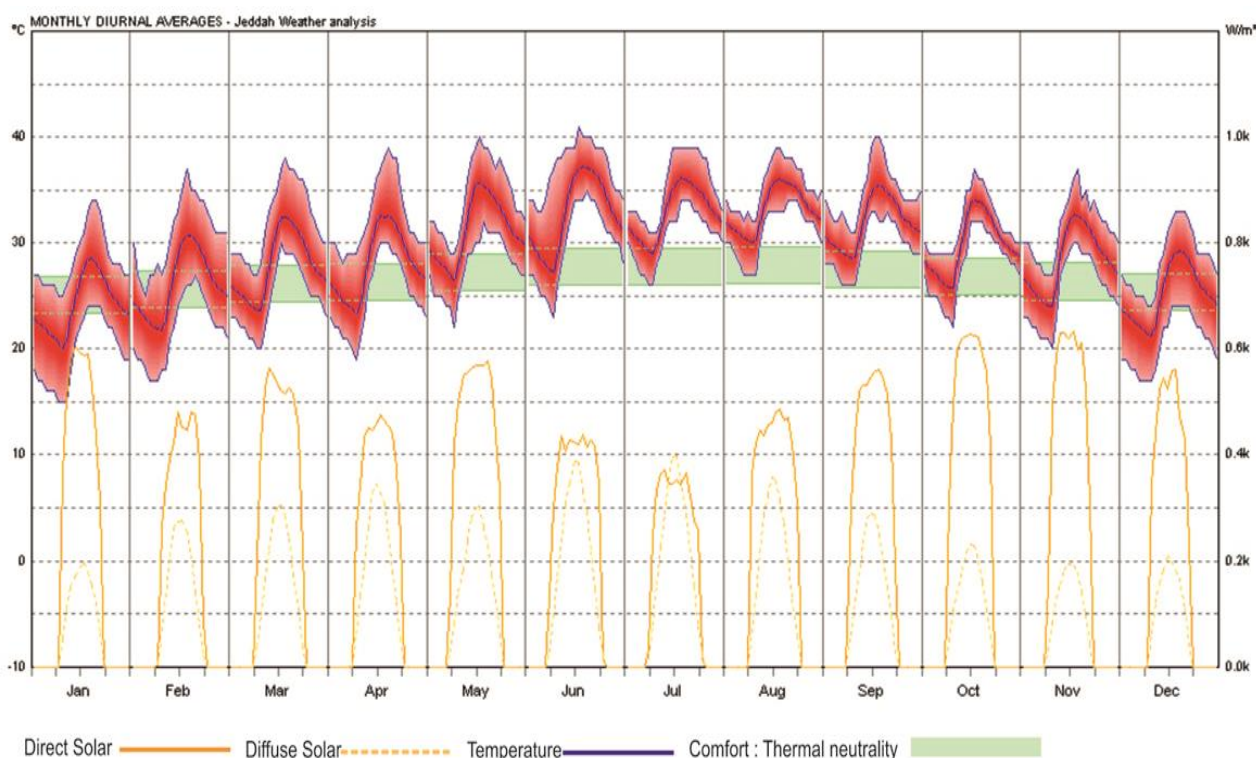


Figure 5-4 : moyenne mensuelle diurne, par AUTODESK ECOTECH (2013). La courbe rouge représente les températures maximales et minimales pour chaque mois, la courbe jaune représente le rayonnement solaire direct par mois ; par l'auteur.

La longueur du jour varie de manière significative au cours de l'année. Le jour le plus court est le 21 Décembre avec 10 heures et 49 minutes de lumière du jour et le jour le plus long

<sup>34</sup> ECOTECH : est un outil complet de conception depuis la phase d'avant-projet, plus de détails au chapitre 6.

est le 20 Juin avec 13 heures et 27 minutes de lumière du jour. Le lever de soleil au plus tôt est à 05h39 le 4 Juin et le coucher de soleil au plus tard est à 19h11 le 7 Juillet. Le lever du soleil le plus tard est à 07h04 le 18 Janvier et le coucher de soleil au plus tôt est à 17h39 le 28 Novembre (Figure 5-5).

#### Spherical Projection

Location: 21.0°, 39.0°  
Sun Position: -177.8°, 45.5°  
HSA: 92.2°  
VSA: 92.1°

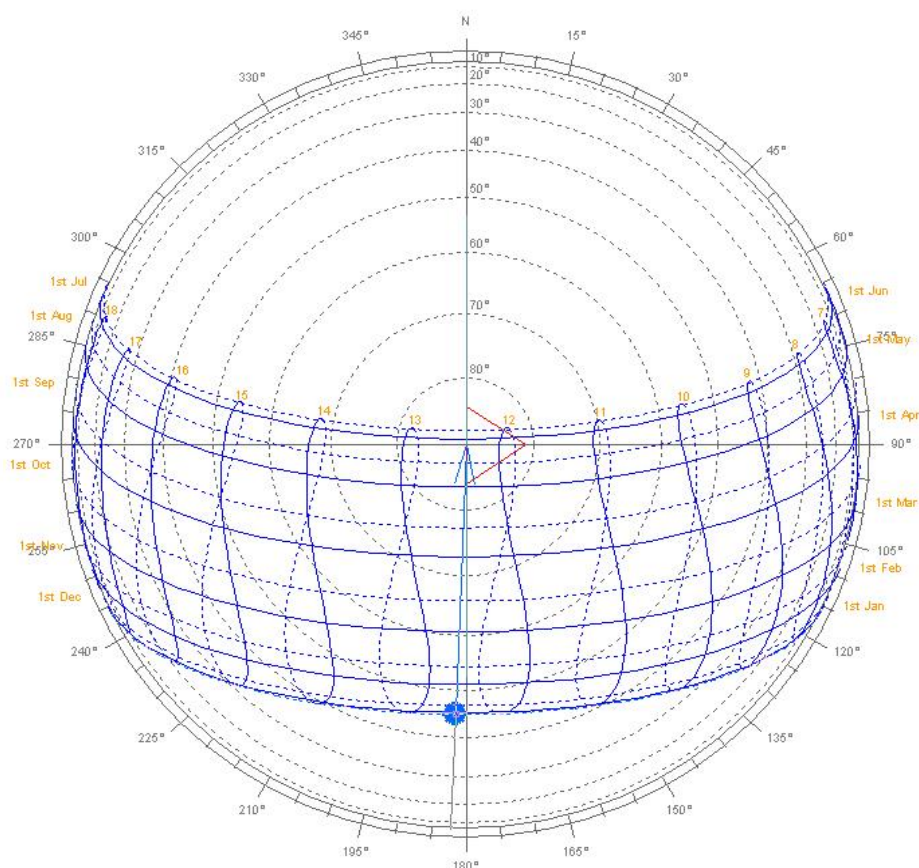


Figure 5-5 : projection sphérique de Djeddah ; par l'auteur.

#### 5-4-1-2 Les nuages

La couverture médiane de nuage varie de 2% (clair) à 18% (majoritairement clair). Le ciel est plus nuageux fin Décembre et plus clair fin Juin. La partie la plus claire de l'année commence vers le mi-Février. La partie avec la couverture nuageuse la plus importante de l'année commence aux environs de la mi-août. Le jour le plus clair de l'année, le ciel est clair, majoritairement clair ou en partie nuageux 78% du temps, et couvert ou principalement nuageux 0% du temps. Le jour le plus nuageux de l'année, le ciel est couvert,



majoritairement nuageux, ou partiellement nuageux 17% du temps, et clair, ou principalement clair 64% du temps. Nous noterons que le taux de couverture nuageuse augmente principalement au cours de l'après-midi, après 14 heures.

### 5-4-1-3 L'humidité

L'humidité relative est généralement comprise entre 30% (sec) et 89% (très humide) au cours de l'année. Elle descend rarement en dessous de 17% (sec) et n'atteint pas non plus 96% (très humide).

L'air est au plus sec autour du 7 Juillet, lorsque l'humidité relative descend en dessous de 39% (confortable), 3 jours sur 4. L'air est, en revanche, plus humide autour du 3 Octobre, atteignant les 84% (humide), 3 jours sur 4 (Figure 5-6).

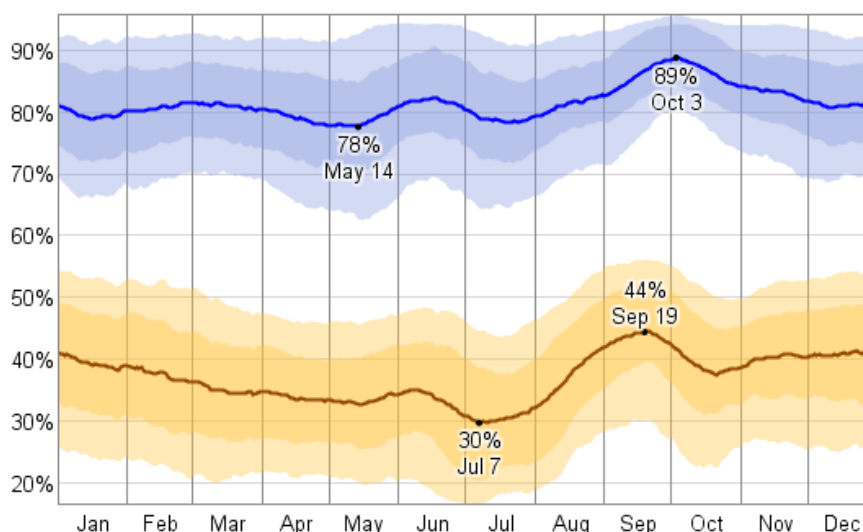


Figure 5-6 : schéma de l'humidité relative de Djeddah en 2013 ; [<https://weatherspark.com>].

### 5-4-1-4 Le vent

Au cours de l'année, la vitesse du vent varie de 0m/s à 8m/s (calme à brise fraîche), dépassant rarement 11 m/s (brise fraîche).

La vitesse moyenne la plus haute du vent de 4m/s (brise douce) se produit autour du 18 Mars, date à laquelle la vitesse du vent maximale moyenne quotidienne est de 8m/s (brise fraîche).

La vitesse moyenne du vent la plus basse de 3m/s (petite brise) se produit autour du 18 Octobre, date à laquelle la vitesse maximale moyenne quotidienne du vent est de 7m/s (vent modéré).

La direction du vent dominant dans la région de Djeddah provient principalement du Nord, bien que des rafales de vent viennent de temps en temps du Sud [Anon, 1986] (Figure 5-7).

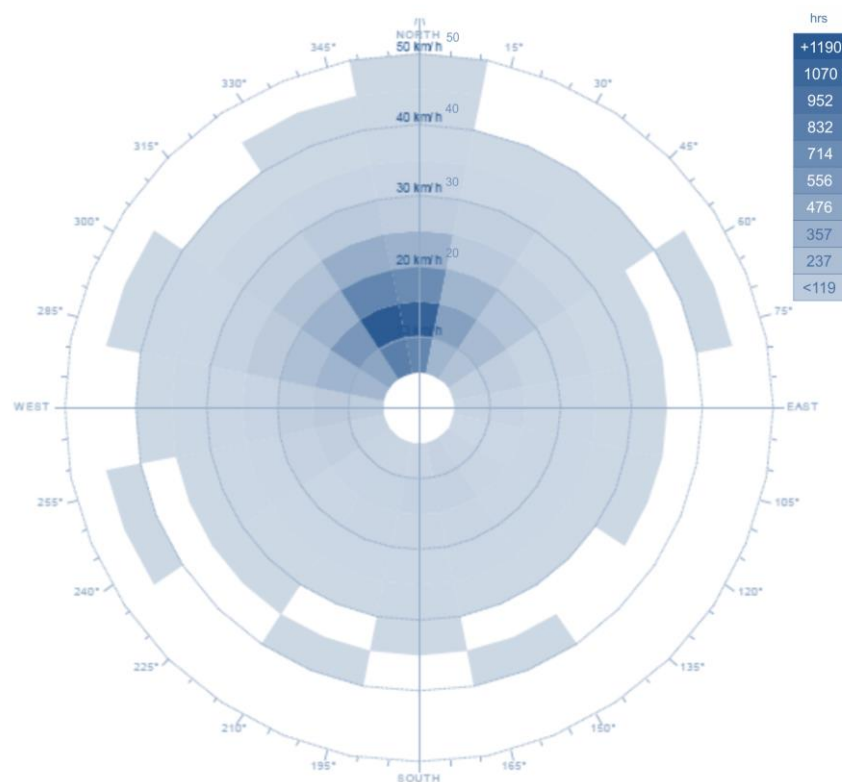


Figure 5-7 : la direction et la vitesse du vent à Djeddah ; par l'auteur.

## 5-5 La diversité du logement

Les habitants de Djeddah habitent dans différents types de logements, bien que la plupart vivent dans des appartements ou autres logements collectifs – environ 60% d'entre eux occupent des appartements, alors que 4% habitent à l'étage d'une maison. Seul un résident sur 4 (24%) occupe une villa et environ 9% vivent dans des maisons traditionnelles (Figure 5-8). Ces chiffres sont valables autant pour les Saoudiens que non-Saoudiens. Cependant, la proportion de personnes vivant dans des villas est beaucoup plus élevée pour les Saoudiens que pour les non-Saoudiens (respectivement, 13 et 3%). Des familles saoudiennes vivant à Djeddah, plus de la moitié (52%) vit dans un logement loué, alors que seulement 41% d'entre eux sont propriétaires de leur propre maison (Figure 5-9).

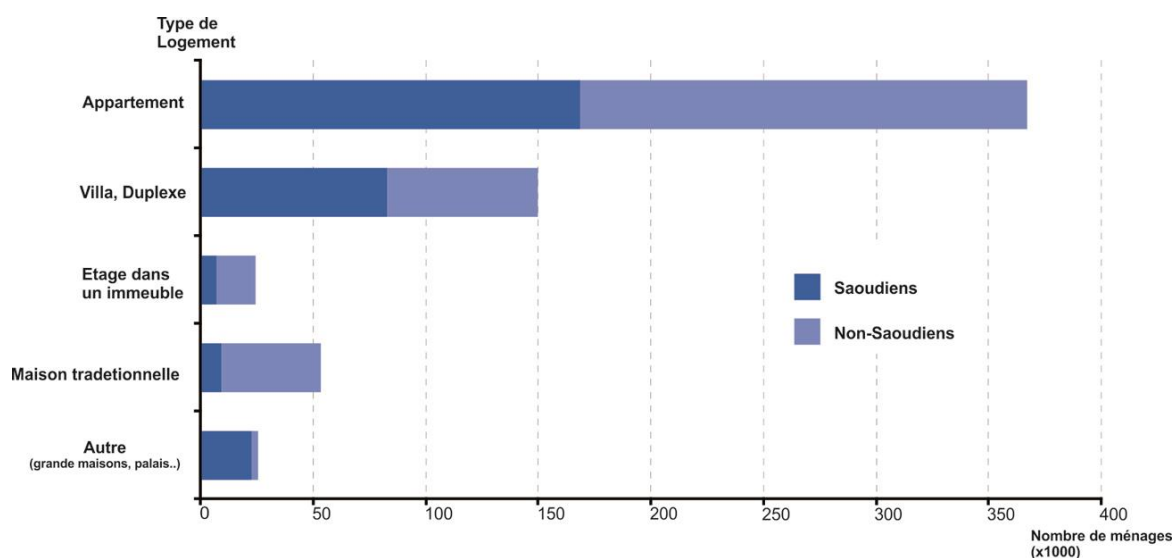


Figure 5-8 : répartition des modèles de logements occupés par des familles à Djeddah ;  
[Observatoire urbain Djeddah 2007 ].

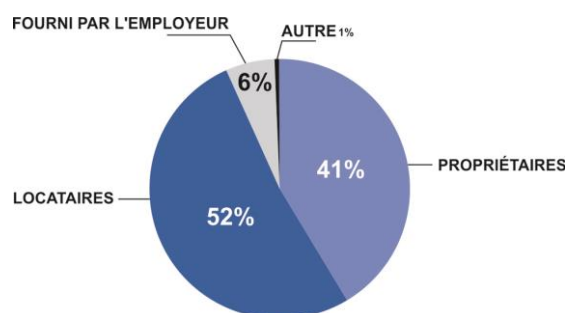


Figure 5-9 ; actuelle occupation pour les familles saoudiennes de Djeddah,  
source : [Observatoire urbain Djeddah 2007].

## 5-6 Un retour vers l'architecture traditionnelle à Djeddah

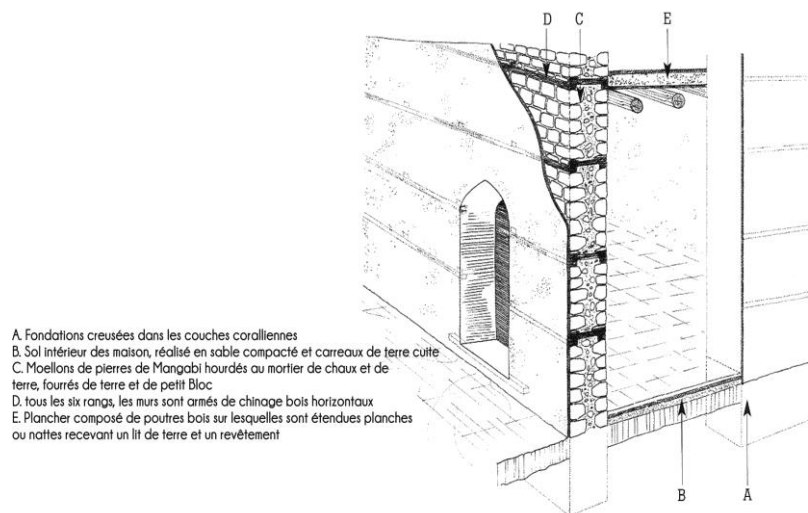
Comme nous l'avons décrit dans le chapitre 3, les anciennes formes architecturales de Djeddah comportant des motifs verticaux, et des ouvertures tels que les Rowshans et moucharabiehs qui décorent les façades, caractérisent les bâtiments de la Médina. Bien que les premières impressions suggèrent que les profils architecturaux étaient similaires, le temps et son évolution ont créé des variations diverses. Toutefois, les maisons historiques ont un design et une architecture remarquables et simples, représentatifs d'un riche patrimoine, qui relate la manière dont les artisans et les constructeurs locaux avaient, il y a déjà bien longtemps, adapté le design à la demande sociale et aux facteurs

environnementaux. En raison de cette évolution en matière de construction, les dessins de ces anciennes maisons sont considérés comme ayant un style unique, fonctionnel et authentique. En outre, ce style architectural unique améliore le confort thermique et réduit l'humidité, étant donné que les bâtiments contribuent à maximiser la ventilation transversale. Selon King en 1998, d'après la description d'un voyageur français (1700), en observant les bâtiments de Djeddah faits à partir de pierre de corail et atteignant environ trois étages ; nous noterons que ceux-ci ont été construits autour d'une cour centrale à ciel ouvert. Bien que elles ont également été aperçues dans d'autres villes, telle que La Mecque Hedjazi, qui partage le même climat chaud et aride, les cours centrales n'étaient pas populaires à Djeddah.

Au début du XIXe siècle, les maisons de Djeddah ont été décrites comme ayant une ornementation géométrique courbée dans la pierre de corail, une décoration de mise en œuvre difficile, mais durable. Le long des côtes de la mer Rouge, le corail utilisé pour la construction varie sensiblement dans sa forme, son genre et sa taille. Et pour éviter de réduire la taille des blocs de corail, ils étaient souvent coupés approximativement, bien qu'en cas de besoin, pour la fabrication d'arches et de portes, de plus grosses pierres étaient coupées à ces fins. Le modèle de construction commun à Djeddah et dans d'autres endroits de Afrique de l'Est a été d'utiliser les matériaux tirés des récifs comme le corail ou la pierre (Figure 5-10), de forme irrégulière, qui était ensuite recouvert de chaux [ORBASLI, 2009]. L'épaisseur des murs de ces bâtiments était supérieure à la base et réduite au niveau de chaque étage, donc bien que l'épaisseur générale était de 800 mm à la base, elle diminuait de 150 mm à chaque nouvel étage (Figure 5-11).



**Figure 5-10 : Types de pierres en corail utilisées dans les bâtiments à la vieille ville de Djeddah ;[AIDAROUS 2011].**



**Figure 5-11 : découpe d'anciens bâtiments traditionnels de Djeddah qui démontrent les différents éléments de construction ; Source [ECOLE D'AVIGNON, 2006].**

Par conséquent, arrivé au troisième étage, l'épaisseur des parois était d'environ 500 mm. Toutefois, les variations étaient telles que d'autres résultats de recherche suggèrent que l'épaisseur de la base des murs de corail de ces bâtiments était d'environ 600 mm [AMM SAAD, 2011]. Ces murs de corail nécessitaient d'être protégés de la pluie, de l'humidité, du sel et du sable qui les détérioreraient, ce pourquoi ils utilisaient du plâtre, qu'ils décoraient, et de la chaux [ORBASLI, 2009].

Chaque maison comparait des éléments architecturaux en bois appelés Rowshan et de fenêtres que l'on appelle « *Shubbak* » (Figure 5-12). La fonction des Shubbak était la même que celle de la fenêtre actuelle classique, soit laisser passer l'air et la lumière. En outre, la grande largeur du mur fournissait un espace raisonnable pour s'asseoir à côté de la fenêtre [AKBAR, 1992].



**Figure 5-12 : présentation de la fenêtre et le rowshan , de sa section et de l'épaisseur de la paroi ; par l'auteur, d'Après [Abu-Ghazze 1994].**

Certains bâtiments avaient des fenêtres en saillie, l'expression d'un savoir-faire artisanal. Il se raconte que le bois utilisé dans les écrans de fenêtres, les Rowshan, était importé depuis l'Inde Orientale ou la Méditerranée à travers l'Egypte. Il aurait également été conçu par des charpentiers locaux qualifiés en provenance de Djeddah [BATTERJEE, 2010]. En effet, le climat chaud et humide nécessitait l'utilisation d'un bois durable pour la construction des Rowshan et le bois de teck avait alors été choisi spécifiquement dans cette idée. La figure 5-13 montre comment le rowshan vient s'accrocher à la façade à travers des schémas de la composition de celui-ci en différents éléments structurels en bois. Un cadrage en bois dans l'ouverture vient soutenir la partie suspendue ressortant de la façade côté extérieur.

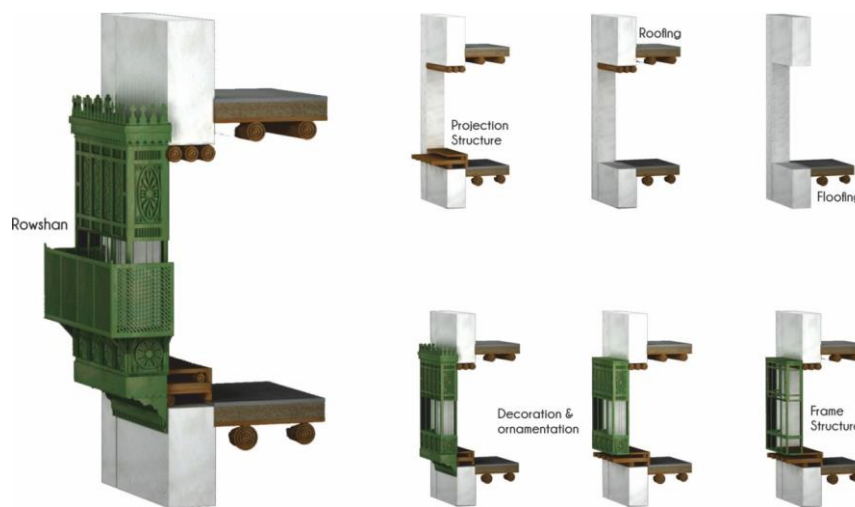


Figure 5-13 : les composants du Rowshan ; par le Laboratoire S.G.U<sup>35</sup> – KAU Djeddah.

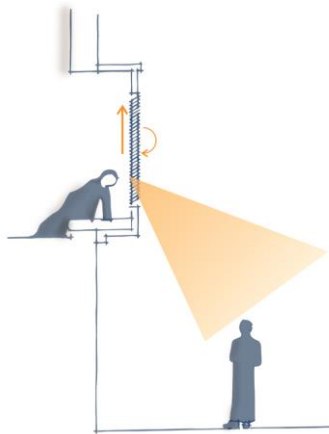
Les maisons traditionnelles conservées de la vieille ville ont, à l'époque, été construites soit dans le style turc, soit égyptien ou une combinaison des deux. Djeddah était sous le contrôle de l'Empire Ottoman à partir du XVI<sup>e</sup> siècle jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle. Cette période a subi l'influence, notamment sur la finance, de l'Empire Ottoman. La plupart des maisons ont été construites en conservant le style turc, mais durant la dernière moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, le style égyptien a commencé à émerger dans la construction de maisons de Djeddah. Il n'y avait pas de séparation claire entre les deux styles (turcs et égyptiens) parce que la construction s'est, en effet, faite dans les deux styles en même temps, et les deux modèles ont été trouvés dans le même bâtiment [ADASS, 2013], (Figure 5-14).

<sup>35</sup> Smart Growth Unit, King Abdulaziz University – Djeddah (2005). Je suis un membre de laboratoire S.G.U depuis 2002 ; [Maimani, Hazmi, Marghalani et Al-Ghmadi].



**Figure 5-14 : démontre l'harmonie architecturale entre les différents éléments d'une façade dans le vieux Djeddah ; par l'auteur.**

Les espaces intérieurs étaient plus ou moins liés aux espaces extérieurs. Toutes les maisons traditionnelles avaient de grandes ouvertures sur l'extérieur qui ont permis aux personnes assises dans le Rowshan de se sentir en contact avec le monde extérieur, au même temps le Rowshan garde l'intimité des habitants et leur vie privée (Figure 5-15).



**Figure 5-15 : le rowshan et son efficacité au niveau de l'intimité visuelle; par l'auteur**

Parfois, la personne installée dans le rowshan, au niveau du sol, peut parler avec les piétons passant à l'extérieur. Dans les étages supérieurs, les membres de la famille, notamment les femmes, peuvent profiter de l'extérieur sans être vus. Les espaces dans les maisons traditionnelles de la région de l'Ouest ne sont ni isolés, ni exposés de façon incontrôlable, sur l'extérieur ; ils ne sont ni fermés, ni ouverts. Dans la vieille ville, généralement, les gens s'assoient ou se rassemblent dans des espaces semi-privés en dehors de l'entrée de la maison, un endroit appelé Dakah, élevé à quelques pas du niveau du sol, ou dans le hall d'entrée. La plupart du temps, ces espaces sont intégrés aux espaces intérieurs de la maison.



### 5-6-1 Un exemple de bâtiment traditionnel à Djeddah : la maison Al-Shafie

Construit approximativement à la fin du XIXe siècle, ce bâtiment est un exemple représentatif de l'architecture vernaculaire domestique. Cette maison est située dans le quartier de Al Balad (La Médina). Il s'agit d'un immeuble de quatre étages occupant une parcelle de terrain de 19 x 12,7 m (Figure 5-16). Il a été utilisé par une grande famille, mais personne ne vit actuellement dans cette maison. La tradition, les aspects climatiques, l'intimité et la séparation de la vie publique et la vie privée ont dicté l'aménagement intérieur de cette maison. De manière générale, la flexibilité d'utilisation de l'espace au cours d'une journée, l'ouverture des façades, la ventilation et l'éclairage naturel, tels une réponse au climat chaud et humide, sont les principales caractéristiques des maisons traditionnelles en ce lieu.

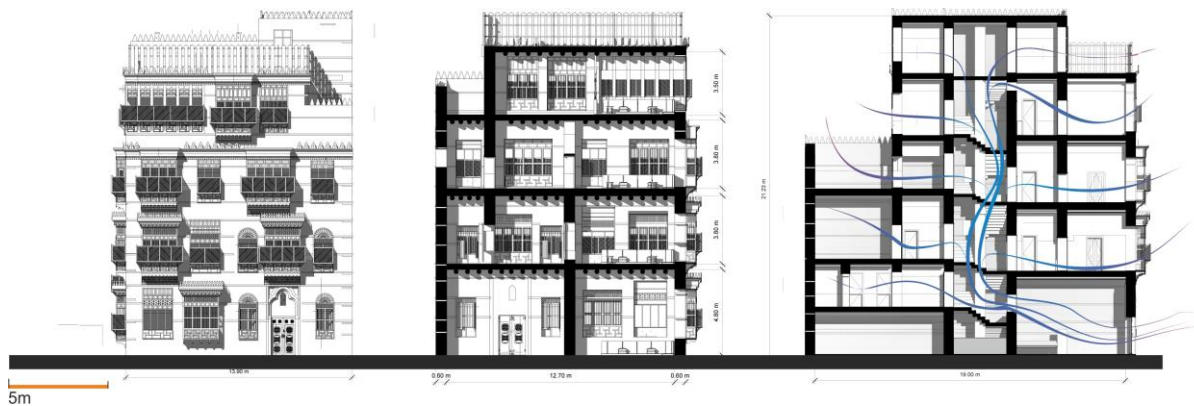


Figure 5-16 : la façade principale et les coupes de la maison Al-Shafie dans la vieille Djeddah. Dans la maison traditionnelle, la ventilation transversale, représentée par les lignes bleues, est efficace car elle se diffuse ; par l'auteur et [Laboratoire S.G.U 2005-2013].

#### 5-6-1-1 Rez-de-chaussée :

Le rez-de-chaussée de la maison Al-Shafie était un espace semi-privé qui comprenait les entrées principales, le hall d'entrée, le bureau de la famille, les escaliers, les toilettes et les espaces dédiés aux domestiques.

#### 5-6-1-2 Premier étage :

L'espace des invités était constitué d'une grande pièce divisée en deux parties par une arche, un salon de thé, une boutique et un hall d'entrée. Cet endroit était une zone couverte de tapis et les chaussures étaient habituellement ôtées dans cet endroit.



### 5-6-1-3 Deuxième étage :

Les deuxième, troisième et quatrième étages constituaient les espaces de vie de la famille. Ils étaient similaires les uns aux autres. Chaque étage était composé d'une grande pièce familiale au-delà d'un living de taille moyenne, des chambres familiales, des cuisines et des toilettes (Figure 5-17). Dans les espaces familiaux, il y avait également une autre chambre d'invités pour la femme, au second étage. Cette maison est un prototype de la vieille Ville de Djeddah, exprimant les fonctions d'un espace d'intérieur (Figure 5-18).

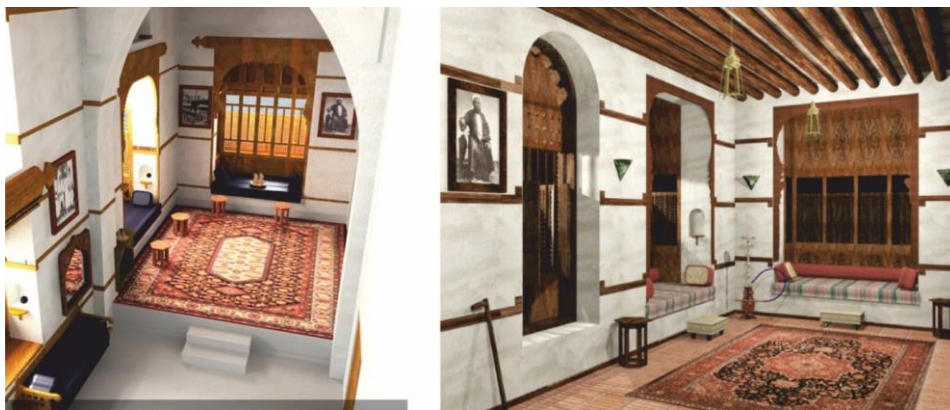


Figure 5-17 : la perspective intérieure de la maison Al-Shafie ; à gauche : la chambre d'invités ; à droite : le living room ; [ Laboratoire S.G.U 2005].

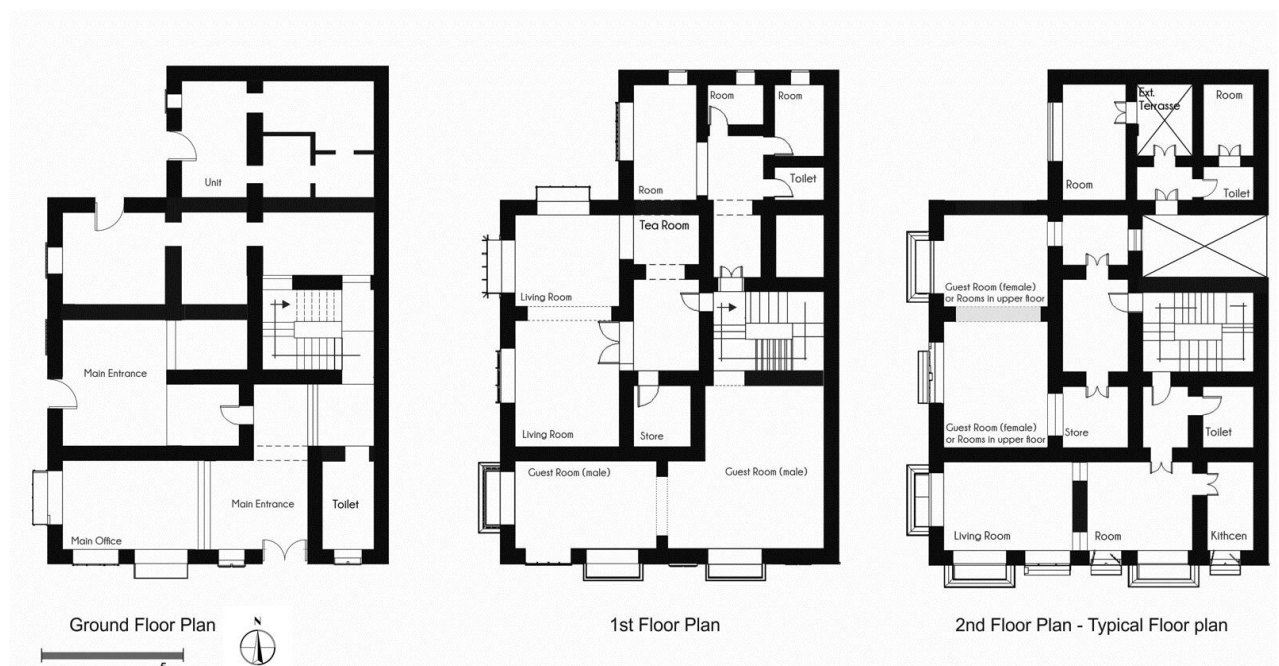


Figure 5-18 : les plans des différents étages de la maison Al-Shafie par l'auteur et [Laboratoire S.G.U 2005-2013].

### 5-6-2 Motif urbain d'un habitat traditionnel de Djeddah

En somme, l'urbanisme de l'architecture traditionnelle de Djeddah a été influencé par de nombreuses références culturelles et sociales, tout comme l'architecture de Hedjaz au cours des siècles, bien que de nombreux historiens considèrent l'influence de la culture turque et égyptienne comme les plus importantes [BATTERJEE, 2010]. L'aménagement de la ville est composé de deux zones urbaines distinctes : la zone commerciale -le point central de la ville- et le quartier résidentiel, qui s'étend particulièrement autour de la place du marché commercial. La disposition des rues répond aux conditions climatiques ; orientée vers le Nord-Ouest afin de bénéficier des vents dominants, la ville démontre une transition progressive des espaces publics du marché vers des voies piétonnes jusqu'aux impasses semi-privées et l'intimité des maisons. Le système de rues intérieures dans le quartier résidentiel est conçu pour faciliter la circulation des piétons et des animaux. Les ruelles étroites et sinueuses sont en harmonie les unes avec les autres, et fournissent de l'ombre et de l'air froid canalisé pour les piétons [ALHARBI, 1989].

La répartition hiérarchique des rues et leur largeur dépendent de leur fonction et de leur emplacement. Les rues les plus larges se trouvent à la périphérie de la ville et se rétrécissent lorsqu'elles atteignent le centre du quartier. Les ruelles sont étroites, avec une largeur de deux mètres, tandis que d'autres rues dans le quartier du marché, à la périphérie, ont une quinzaine de mètres ou plus de largeur. Les ruelles étroites forment parfois une série d'espaces semi-privés [BATTERJEE, 2010]. Ce sont ces ruelles qui ont réussi à atteindre la zone résidentielle. Les rues entre les maisons dans les zones résidentielles étaient de toutes petites allées, principalement utilisées par les piétons. Leur largeur a été mesurée selon la capacité du propriétaire des maisons d'ouvrir leurs portes et fenêtres librement [RAGETTE, 2003].

Ces voies étaient si étroites que les balcons de bois en encorbellement de certaines maisons étaient suffisamment proches pour que les femmes puissent tenir une conversation de groupe, chacune assise derrière son Rowshan sans être vue de l'extérieur. En effet, la vie privée est une question très importante, quelle que soit la culture. Ce fait peut être démontré de manière significative à Djeddah dont l'architecture traditionnelle a été spécialement conçue pour les femmes, dans la culture Hedjazi en particulier, comme dans

les sociétés islamiques en règle générale. C'est un facteur très important qui influence la conception architecturale locale dont nous avons discuté dans le 3ème chapitre. Il est du devoir de la femme musulmane de porter des vêtements modestes et de ne pas révéler certaines parties de son corps à des hommes qui ne sont pas reliés à elle, mais ce point est devenu un sujet de controverse.

Par conséquent, l'architecture traditionnelle des maisons a été conçue afin de répondre à deux besoins : religieux et culturels. Les ouvertures de fenêtres et ses traitements, tel que le Rowshan lui-même, démontrent un bel exemple de l'unification de la conception et de la fonction, entendons ici la fonction sociale. Les femmes peuvent facilement regarder dans la rue, observer les autres et même interagir avec eux, sans être elles-mêmes aperçues [ALHARBI, 1989].

## **5-7 La situation actuelle**

Au cours des cinq dernières décennies, la vieille ville a connu de nombreux changements. Les activités urbaines mixtes de la zone centrale de Djeddah ont généré des charges de trafic importantes dans un réseau initial de rues étroites et sinueuses, conçu uniquement pour les piétons. Les décisions drastiques, ayant pour but d'introduire la circulation automobile dans la vieille ville de Djeddah en construisant de nouvelles routes, ont eu pour conséquences sur ces zones de déprécier leur valeur historique et environnementale, les ramenant au niveau des quartiers résidentiels.

Ces changements ont eu non seulement lieu à la périphérie de la vieille ville, mais aussi dans le vieux quartier, où les anciens bâtiments ont été démolis et de nouveaux bâtiments ont été construits à leur place. De plus, les espaces ouverts des quartiers résidentiels sont devenus des espaces de stationnement. De nombreux immeubles de grande hauteur, ainsi que d'autres aménagements urbains, ont remplacé la plupart des maisons traditionnelles, notamment pour un usage commercial et professionnel, ce qui a eu pour effet de changer l'image de la ville historique, en particulier son bord de mer.

Auparavant, les mosquées et les minarets dominaient l'horizon, comme dans d'autres villes islamiques, mais aujourd'hui cela a changé pour laisser place à des bâtiments modernes de grande hauteur, dans un style international de construction, en béton armé, acier, verre, etc.

À la fin des années 1940, la géographie sociale de la ville était presque délimitée, et les images urbaines globales du Sud, de l'Est et du Nord étaient établies. Les résidents à revenu élevé étaient peu susceptibles de résider dans la vieille ville en raison du manque de services. De plus, les familles à faible revenu n'avaient pas les moyens de s'installer dans le Sud ou l'Est de la ville, à l'exception de quelques enclaves, en raison des prix élevés des terres et un manque de biens non-affectés. Presque toute la croissance urbaine de la ville, ainsi que les nouveaux développements, suivaient cette configuration.

Malheureusement, la pression de l'expansion urbaine - causée notamment par l'augmentation de la population en raison du niveau élevé de la migration -, l'augmentation de la richesse du pays associée à d'importants mouvements de capitaux d'investissement dans la construction et la spéculation immobilière ou encore la modernisation ont eu pour conséquence l'expansion précipitée de la ville et les changements drastiques et soudains de grande ampleur.

Ainsi apparaissait une situation à laquelle les gens et la communauté ne pouvaient pas faire face. Une vaste gamme de modèles entièrement nouveaux de construction a alors commencé à émerger [ALHARBI,1989].

En raison de l'augmentation du nombre de voitures, la hiérarchie des rues piétonnes s'est détériorée. Dans certaines régions, en particulier celles à la périphérie et à la transition de la ville, les rues sont devenues larges et relativement simples, ainsi que parfois disposée selon une grille (Figure 5-19). Ces dernières sont notamment présentes dans les zones prévues par la municipalité et occupées par tous les niveaux de revenu, en particulier moyens à élevés. Dans ces secteurs, la voiture est devenue le principal mode de transport.



Figure 5-19 : à droite: des rues (25m de large) au beau milieu d'un quartier résidentiel ; par l'auteur. A gauche : un plan urbain actuel et les quartiers résidentiels de Djeddah ; source : Google Maps.

Actuellement, les voitures sont introduites dans toutes les parties du quartier créant une situation de conflit entre les piétons et les véhicules. De nos jours, la rue, initialement conçue pour la circulation des piétons, est utilisée pour les voitures et est principalement utilisée par ceux qui veulent éviter les embouteillages et des retards sur les routes principales. En revanche, nous pouvons observer que les habitants ne peuvent pas se déplacer sans voiture.

## **5-8 Les modèles de bâtiments actuels**

Les immeubles d'appartements sont dispersés dans les zones contemporaines. Actuellement, les villas sont le type de logement le plus souhaitable par les familles saoudiennes à Djeddah. Leur nombre augmente dans les régions développées.

Il est intéressant d'observer que depuis la fin des années 1960, un changement dans la composition de la famille a commencé à prendre place : en effet, le noyau familial restreint devient de plus en plus fréquent, étant donné que la plupart des jeunes Saoudiens choisissent de vivre de façon autonome après le mariage. Ainsi, le nombre d'unités résidentielles urbaines est en augmentation, chaque année. Nous pouvons diviser les types d'habitats, d'un point de vue contemporain, en trois différents modèles :

### **5-8-1 Les bâtiments d'appartements**

Les immeubles et les appartements ont conservé leur forme caractéristique : on y retrouve une entrée principale, rarement deux. L'espace des hôtes se trouve près de l'entrée et de l'espace familial, vers l'arrière de l'appartement. Il est à noter ici que l'usage spécifique de l'espace des appartements contemporains conduit à l'apparition de nombreux types de pièces dans les grands appartements, notamment l'augmentation des espaces tels que les couloirs, qui sont utilisés uniquement pour la circulation (Figure 5-20). Il y a eu une augmentation considérable de la superficie totale des appartements.

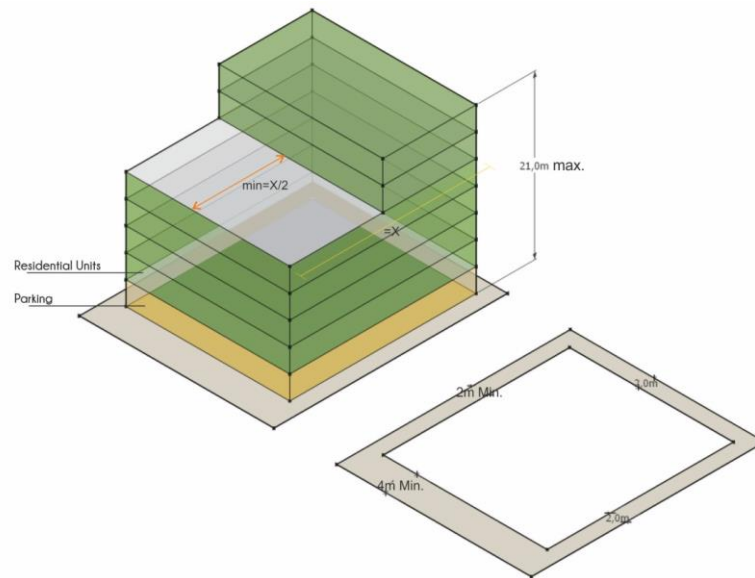


Figure 5-20 : emprise d'un bâtiment d'appartements par rapport à sa parcelle.

### 5-8-2 Les villas détachées

Les villas sont pratiquement uniformes dans chaque quartier de la ville. On y retrouve toujours l'accueil, la salle à manger et le domaine d'hôtes à l'avant du rez-de-chaussée, suivie par la cuisine et l'escalier. Les chambres sont situées au premier étage. La fonction spécifique d'une pièce, comme le terme *salle à manger*, *salon*, ou autre, est plutôt adoptée dans les villas que dans les autres types de logements de la ville (Figure 5-21). Il a été constaté que la superficie moyenne de la villa dans les quartiers actuels dépend de la superficie de la parcelle, et nous observerons plus particulièrement cette théorie dans la section consacrée au questionnaire (sondage).

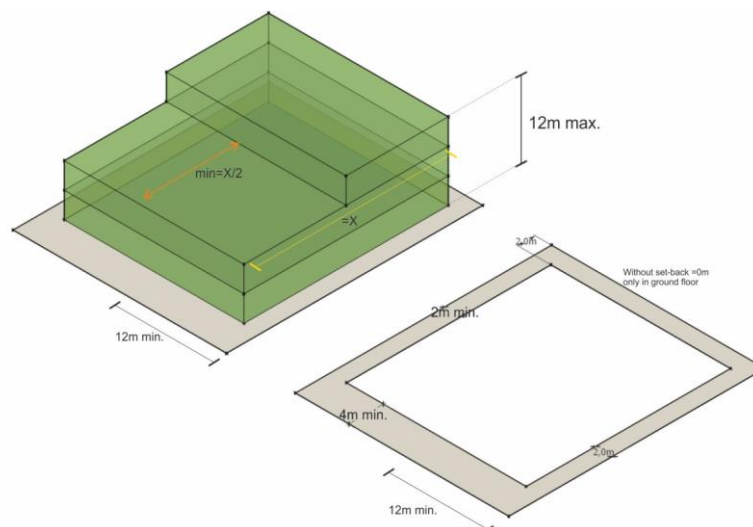


Figure 5-21 : emprise d'une villa détachée par rapport à sa parcelle.



### 5-8-3 Les villas attachées (Duplex)

Suite à l'autorisation de la municipalité concernant la possibilité de diviser la terre en petites surfaces, mais avec 12 m de largeur minimale, de nouveaux modèles d'habitat ont pu être observés dans les quartiers contemporains : les villas ou duplex attachés (Figure 5-22).

L'avantage de ce type de foyers étant de pouvoir joindre l'unité à la façade de l'un de ses voisins, en plus de fixer le rez-de-chaussée à l'arrière (tableau 5-2).

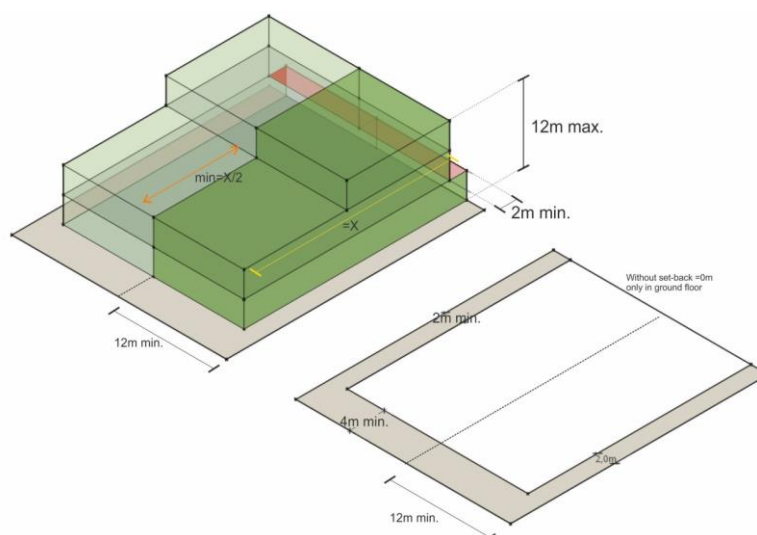


Figure 5-22 : emprise des villas attachées par rapport à leur parcelle.

Type de logement		Les distances par rapport aux limites séparatives latérales				Etage Max.	C.O.S
		A	B	C	D		
Bâtiment d'appartements		2m minimum	2m minimum	4m minimum	2m minimum	R+6 Max.	3
Villa détachée		2m minimum	2m minimum	4m minimum	2m minimum	R+2 Max.	1.5
Villa attachée		Attaché au R.C 2m minimum Au 1 <sup>er</sup> étage	2m minimum	4m minimum	2m minimum	R+2 Max.	1.6

Tableau 5-2 : informations des modèles de logement, et le ratio de la surface par étage.

A partir de ce que nous venons de voir quant aux différentes typologies de logements, nous avons dû mettre en place une méthodologie particulière adaptée à cette diversité de bâti qui nous permettrons de mettre en évidence les différences de satisfactions climatique, socio-culturelle et de confort selon le type d'habitat considéré.

## 5-9 Le Concept de Post Occupancy Evaluation (POE)

« *L'évaluation après occupation* » (POE) peut être considérée comme les activités et processus d'évaluation systématique de la performance du bâtiment après qu'il ait été construit puis occupé depuis une certaine période time [PREISER, RABINOWITS ET WHITE, 1988]. Cependant, dans l'interprétation des performances des bâtiments, plusieurs écoles de pensée distinctes ont émergé.

### 5-9-1 Histoire de la méthode POE, revue de littérature

Dans les années 1960 et 1970, la méthode POE (Post-occupancy evaluation, soit l'évaluation conséquente à l'occupation d'un bâtiment) était utilisée dans les études de cas individuels du secteur du logement public et étudiant en Europe, au Canada et aux États-Unis [VISCHER, 2002]. L'évaluation consistait principalement à collecter des informations concernant les occupants et les bâtiments au moyen de questionnaires, d'entretiens, visites de sites et observations de terrain. Avec une démarche logique et les résultats bénéfiques de la POE, la méthode fut ensuite, au milieu des années 1980, appliquée au commerce de l'immobilier et aux bâtiments faisant office de bureaux. Les informations conséquentes de la POE ont été utilisées par les organismes publics pour appuyer les critères de conception et les directives. Des programmes POE ont été menées par un certain nombre d'équipes de projet après construction, afin d'identifier les leçons apprises par l'analyse des résultats [KHALIL ET HUSIN, 2001].

En 1989, MARANS et YAN [MARANS ET YAN, 1989] ont analysé le confort intérieur de 13 immeubles de bureaux, via les méthodes d'analyse de corrélation de Pearson. Ils ont conclu que la satisfaction par rapport à l'espace de travail corrélait avec la satisfaction par rapport à l'éclairage, au bruit, à la qualité de l'air, au chauffage et aux projets ainsi qu'à l'étendue de l'espace, la qualité du mobilier, la confidentialité, la couleur et la zone des murs/cloisons.



En 2009, Lai et Wong évaluent la qualité de l'environnement intérieur (QEI) d'immeubles résidentiels de Hong Kong pour examiner la perspective de l'acceptation de l'occupant autour de quatre aspects : le confort thermique, la qualité de l'air intérieur, le niveau de bruit et le niveau d'éclairage. Ils évaluent 125 occupants vivant dans 32 appartements résidentiels typiques, via un modèle de régression logistique multi-variée. Les résultats démontrent que l'acceptabilité de l'environnement global intérieur est affectée par l'acceptabilité de l'environnement thermique, acoustique, l'éclairage et la qualité de l'air.

En 2012, FRONTCZAK et SCHIAVON examinent quel paramètre de l'environnement intérieur et quelle caractéristique de construction subjectivement évalués affecte le plus la satisfaction des occupants dans les immeubles de bureaux, plus spécialement aux États-Unis. L'étude a analysé les données d'un sondage en ligne administré à 52 980 occupants dans 351 immeubles de bureaux de plus de dix ans par le Centre pour l'Environnement Bâti. L'enquête utilise des questions d'échelle de 7 points relatifs à la satisfaction des paramètres de l'environnement intérieur, à l'espace de travail et aux caractéristiques de construction. L'enquête révèle que l'occupant moyen du bâtiment était satisfait de son espace de travail et de construction. Les cotes proportionnelles ordinales de régression logistique montrent que la satisfaction de l'ensemble des 15 paramètres énumérés dans l'enquête a contribué de manière significative à la satisfaction générale des espaces de travail. Les paramètres les plus importants sont la satisfaction quant à la quantité d'espace (cote ratio CR 1,57 – intervalle de confiance (IC 1,55 à 1,59), au niveau de bruit (CR 1,27 – IC 1,25 à 1,29) et à l'intimité visuelle (CR 1,26 – IC 1,24 à 1,28).

HEUI et LEE [*HEUI ET LEE, 2010*] effectuent une analyse dans le but d'évaluer la qualité de l'environnement intérieur liée à la satisfaction résidentielle dans la vieille construction de logements multifamiliaux. Leur étude compare et analyse à la fois les résultats des études techniques et de la satisfaction résidentielle quant à la qualité de l'environnement intérieur des appartements anciens, basée sur des études de cas. Deuxièmement, cette étude analyse la validité de l'évaluation de la QEI par rapport à l'évaluation de la qualité de l'environnement grâce à des analyses de régression multiple sur la satisfaction résidentielle et leur perception de l'environnement intérieur. Troisièmement, cette étude compare et analyse l'importance des facteurs de composition de la qualité de l'environnement de la maison, fixés par la perception d'habitation et l'avis des experts.

Une précédente étude en 2012 sur le confort de l'habitat palestinien par M. Haj Hussein a été réalisée avec un questionnaire de 56 questions divisées en 5 thèmes sur lequel une analyse fréquentielle a été adoptée car elle permet de donner des moyennes et déduire des tendances quant au sujet étudié.

Récemment, une étude portant sur le confort thermique en relation avec les statuts sociaux dans la ville de Calcutta en Inde a été faite avec une méthodologie similaire à celle que nous avons sélectionné pour notre étude de cas. L'étude montre de la même façon que le rapport entre perception subjective (confort thermique) et pratique énergétique (utilisation des climatiseurs) n'est pas linéaire [Pellegrino, 2013].

### **5-9-2 Les facteurs principaux de la POE**

Il existe trois facteurs primaires à l'évaluation conséquente de l'occupation d'un bâtiment que nous allons décrire brièvement ci-dessous [*RABINOWITS ET WHITE, 1988*] :

#### **5-9-2-1 La Qualité de l'Environnement Intérieur**

Cette définition de la POE met un accent fort sur le confort et la satisfaction des occupants et peut encore être divisée en deux approches principales afin d'étudier à la fois : les mesures de l'enquête qualitative et quantitative. Bien que celles-ci soient souvent jumelées, la plupart des études privilégient souvent un type d'information à l'autre. Deux sujets d'intérêt particulier dans le débat sur la QEI au sens plus large sont la qualité de l'air et l'éclairage naturel [*PRAKASH, 2005*], (*ANNEXE 1*).

#### **5-9-2-2 La Vérification de la Performance**

L'intention première de la méthode POE est de vérifier les performances d'un bâtiment vis-à-vis des prédictions du modèle de conception. C'est la forme la plus couramment utilisée dans le débat des bâtiments verts aux États-Unis. L'évaluation de la performance des outils, dans la liste de contrôle LEED (*ANNEXE 2*), les points du mesurage de l'eau (WEc4), la qualité de l'air (EQp1, EQc4), le confort thermique (EQc5), l'éclairage intérieur (EQc6), la lumière du jour (EQc7), la performance acoustique (EQc9), la mise en service (EAp1, ÉAc1), et la mesure de l'énergie (EAp3, EAc3) tombent sous l'égide de la POE. Cependant, la plupart de ces crédits sont structurés de manière à fournir l'infrastructure et les métriques semblables à un

champ très étroit axé sur un sujet unique de la POE, mais ils ne comprennent pas forcément l'analyse détaillée ou boucle de rétroaction que la POE exigerait [*LEED-NC 2.1, 2005*].

### **5-9-2-3 L'Étude Holistique**

Cette définition de la POE a bifurqué afin d'envisager une approche plus globale reliant les réponses comportementales humaines à la performance des bâtiments et de l'évaluation. Cette définition a gagné en popularité, comme mode d'évaluation aux Etats-Unis, au cours de la dernière décennie [*JUNGSOO ET DEAR, 2006*].

### **5-9-3 Les facteurs secondaires de POE :**

Cependant, la QEI est composée de nombreux facteurs plus complexes qui peuvent avoir un effet sur les occupants, comme par exemple, le bruit, l'ergonomie, la qualité de l'éclairage artificiel et la couleur de la peinture utilisée, etc... Ce facteur rend l'étude de la QEI beaucoup plus complexe, et lors de l'état de l'art, il a été constaté que la plupart des études se concentraient sur l'un ou l'autre des aspects de la QEI, mais aucune d'entre elle ne comprenait plus de quatre conditions dans leur étude.

## **5-10 Evaluation des données du sondage**

Le questionnaire est la méthode la plus simple et la plus efficace afin d'obtenir des informations quant au sujet de l'habitat et de l'habité. L'échantillon doit être grand et varié pour être le plus représentatif possible de la réalité. Pour cette thèse, le sondage, diffusé par le biais de Facebook et What's App été rempli par plus de 1100 habitants (1127 exactement) et sachant que seule la ville de Djeddah est prise en compte dans cette étude de cas, seules 537 réponses ont été retenues. Pour avoir des résultats les plus proches possible de la réalité, les formulaires incomplets n'ont alors pas été pris en compte. Ainsi seuls 384 réponses complètes d'habitants de Djeddah ont été retenues. Le questionnaire, comptant 58 questions, a été divisé en 5 thèmes (*ANNEXE 3*).

### **5-10-1 Informations générales sur le bâtiment (Q1-Q10)**

Dans ce thème sont regroupées les questions portant sur les caractéristiques de chaque bâtiment tel que son âge, la superficie, le nombre de façades, de pièce, etc.

### **5-10-2 Qualité de l'air et ventilation (Q11-Q28)**

Dans cette partie, il est question du ou des systèmes de ventilation (naturelle et/ou artificielle), de climatisation par rapport à leur facteur d'utilisation, de l'humidité de l'air, des odeurs, etc.

### **5-10-3 Ambiances lumineuses (Q29-Q34)**

Les ambiances lumineuses telles que perçues par les habitants sont étudiées à travers quelques questions portant sur la qualité de l'éclairage naturel, artificiel, utilisation d'ampoules basse consommation, etc.

### **5-10-4 Satisfactions quant au confort socio-culturel et climatique (Q35-Q49)**

Après avoir obtenu des renseignements sur les paramètres généraux des bâtiments et du confort climatique, nous avons voulu connaître l'avis subjectif des occupants quant à ceux-ci puis les mettre en relation notamment avec des questions sur les factures minimum et maximum.

### **5-10-5 Information personnelles sur les sondés (Q50-Q58)**

Ces questions nous renseignent sur les personnes ayant répondu au sondage comme leur âge, la profession, etc. Ce qui nous permet de comparer les différents profils de personnes ayant répondu au sondage. Ainsi cela nous permet de mettre en relation les satisfactions avec leurs profils, notamment s'ils sont propriétaires ou non du logement, etc.

L'utilisation des réseaux sociaux a été motivée par le nombre conséquent d'utilisateurs de ces moyens de communication dans le monde arabe et de l'intérêt porté à ceux-ci, notamment lors du printemps arabe, où un peuple entier s'est soulevé contre son gouvernement par le biais de ce media. Plus de 25% de la population saoudienne<sup>36</sup> utilise

---

<sup>36</sup>D'après l'estimation de la population saoudienne à 29 994 272 habitants. *Central department of statistics and information - Key indicators*

possède un compte Facebook (Figure 5-23), de plus il est plus facile de gérer un sondage sur internet tout en étant à distance.



Figure 5-23 : Facebook : un média largement utilisé en Arabie Saoudite.

Le sondage a été réalisé en arabe afin de pouvoir être compris par un maximum de saoudiens. Pour d'obtenir des résultats avec lesquels il est possible d'établir des moyennes, une méthode d'analyse fréquentielle a été mise en place, elle est particulièrement adaptée à ce type de statistiques afin de comparer les différents taux de satisfaction pour les paramètres étudiés. A partir de ces données, il a été possible de calculer des moyennes et d'obtenir des tendances.

$$\bar{x} = \frac{\sum \omega_i x_i}{\sum \omega_i}$$

$\bar{x}$  étant la moyenne arithmétique recherchée.

$\sum \omega_i x_i$  étant la somme des nombres de personnes multiplié par le niveau de satisfaction (ou âge, ou facture...)

$\sum \omega_i$  étant la somme des habitants concernés.

Sur les 58 questions posées, seules quelques-unes ont été choisies pour l'analyse, les autres résultats ayant été gardés pour de futures recherches sur le sujet. Plus spécifiquement, nous nous sommes limités aux questions 35 à 49 du questionnaire proposé, liées au sentiment de satisfaction des habitants sur leur habitat (intimité visuelle, sécurité et confort environnemental).

Il n'y a pas eu de questions sur le rowshan car il reste relativement rare, en effet il n'est plus présent dans l'architecture contemporaine, le sondage avait peu de chances de toucher des personnes disposant d'un rowshan.

### 5-10-6 Données générales

Les réponses retenues portent alors sur 384 personnes, 216 habitant un appartement (56%) : dont 81 dans un appartement situé dans la maison familiale, 136 dans un appartement en immeuble, puis sur 114 personnes vivant dans un logement détaché (30%) : 102 dans une villa et 12 dans un palais, et enfin 54 personnes habitant une maison mitoyenne (14%), (voir Figure 5-24). D'après le sondage, on trouve alors une majorité de personnes habitant dans un appartement (y compris dans une maison familiale). L'âge moyen des sondés est de 34 ans, près de 45% sont des femmes.

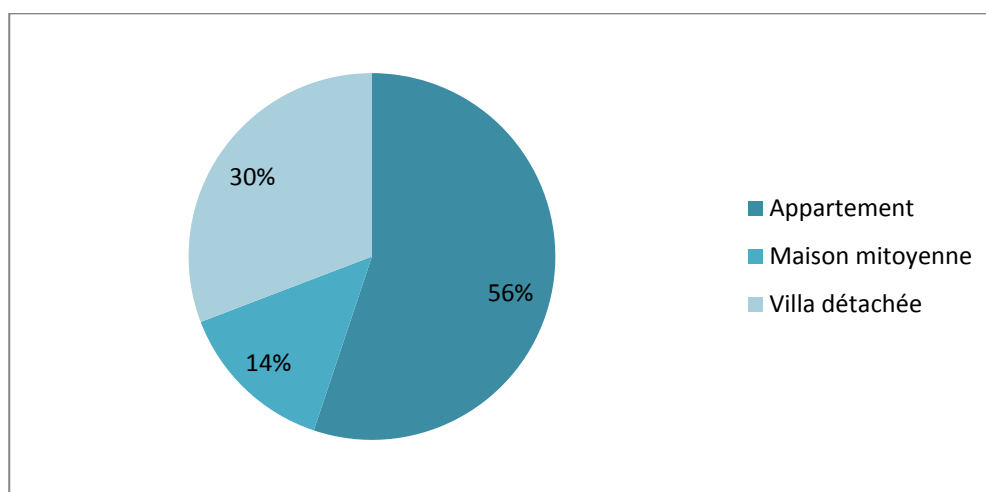


Figure 5-24 : Répartition des types de logements ; par l'auteur. Les statistiques récoltées sont conformes à celles collectées par un chercheur [Azzouz en 2013].

Les plus vieux logements sont les villas détachées avec un âge de 15 ans en moyenne, tandis que les plus récents sont les maisons mitoyennes avec 12,9 ans en moyenne. Les appartements quant à eux se situent entre les deux avec 13,6 ans en moyenne (Figure 5-25). Au vu de ces différences, on pourrait alors penser que les villas détachées sont les logements les moins performants et les moins isolés de tous. Pourtant 42% sont isolées ainsi que 50% des maisons mitoyennes alors que seuls 18% des appartements le sont. Cela peut être expliqué en partie par le fait que les propriétaires des appartements ne vivent pas forcément dedans et louent leur bien alors que la majorité des habitants de maisons individuelles (plus de 90% pour les villas détachées) sont propriétaires. La plupart des habitants des

appartements sont locataires, ce qui peut en partie expliquer le fait que les occupants sont seulement de passage et n'y resteront qu'à court terme. De plus la forte demande de logements au cours des dernières années a conduit à une hausse des prix, ce qui rend plus difficile l'accession à la propriété. On peut noter aussi une différence de richesse pécuniaire de ces différentes personnes : ceux habitant de grandes maisons sont généralement plus aisés que ceux habitant des appartements et ont en conséquence plus de moyens pour améliorer le confort de leur habitat (Figure 5-26).

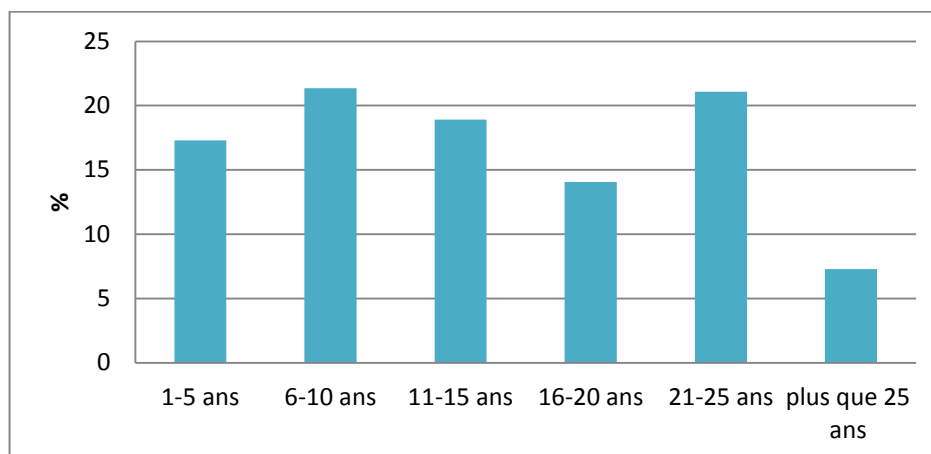


Figure 5-25 : Répartition de l'âge des logements (global) ; par l'auteur.

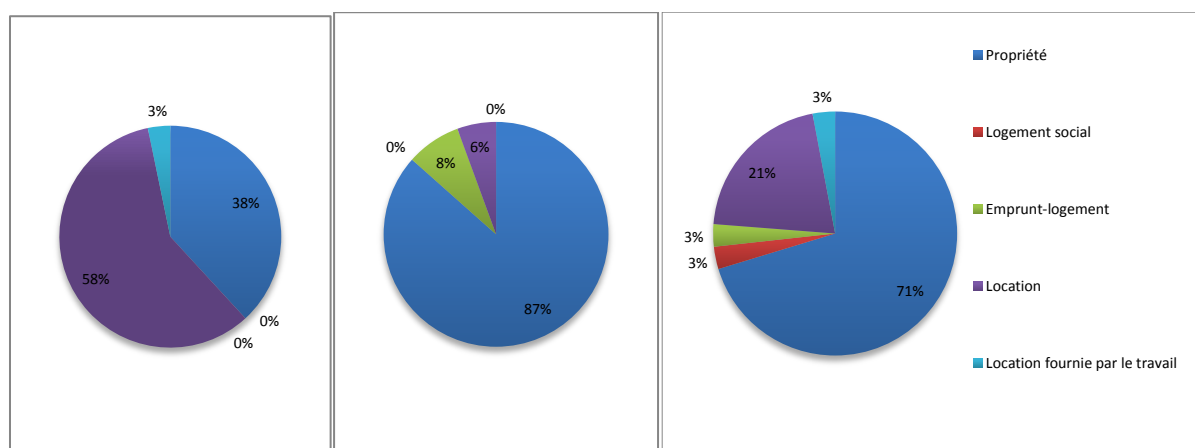


Figure 5-26 : Le mode d'accession au logement en fonction du type, De gauche à droite : Appartement, maisons détachées, maisons mitoyennes.

Les villas détachées (en comptant les palais) sont les plus grands logements étudiés avec une moyenne de 578 m<sup>2</sup> habitables, suivis des maisons mitoyennes avec plus de 368 m<sup>2</sup> en moyenne. Le type d'habitat le plus petit est donc l'appartement avec 216 m<sup>2</sup> de surface habitable moyenne, seuls 6% des logements font moins de 100 m<sup>2</sup> ce qui est largement supérieur aux appartements français voire aux maisons individuelles, les problématiques

sont donc très particulières dans les pays du golfe et ne peuvent pas être aisément transposées d'un pays à l'autre (Figure 5-27).

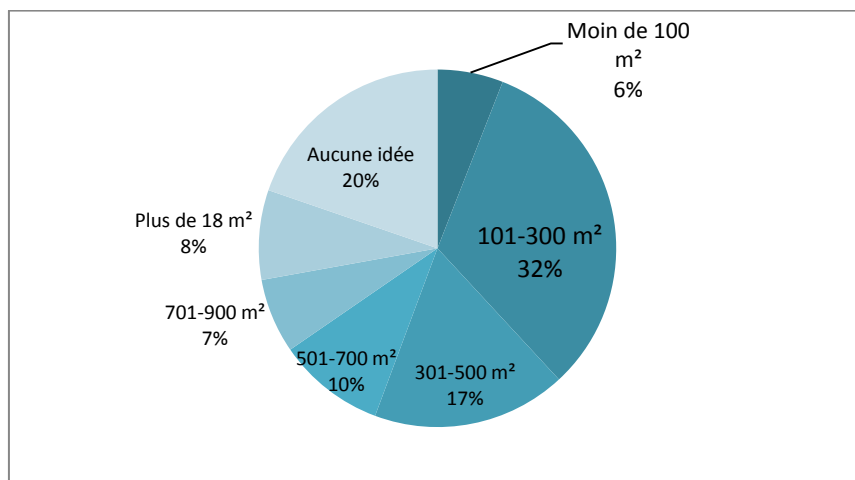


Figure 5-27 : Taille des logements (global) ; par l'auteur.

L'appartement étant le mode d'habitat majoritaire, la plupart des personnes vivant en appartement ont répondu qu'ils ne disposaient que d'une façade principale, ce qui explique le chiffre de 49% des logements tiré de l'enquête (Figure 5-28). Cependant, il faut corriger ce chiffre par le fait que les habitants ne comptent que leur façade principale et oublient très souvent les autres façades qu'ils n'utilisent que très peu, par exemple là où la climatisation est placée. Ce qui a été confirmé par certaines personnes sondées.

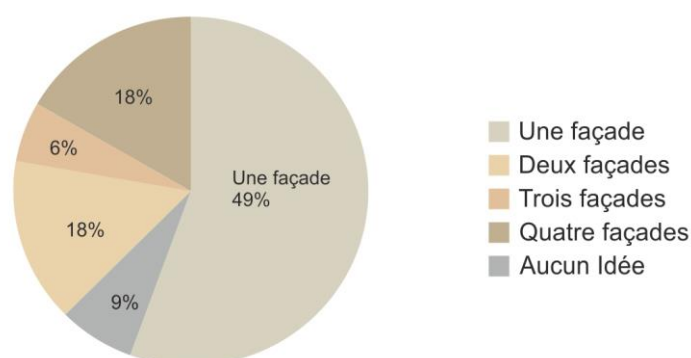


Figure 5-28 : Nombre de façades principales par logement selon le sondage; par l'auteur.

La majorité des sondés habitent loin de leur travail, ils sont généralement près des services tels que des centres commerciaux et de leur famille. Cela dénote une utilisation régulière de la voiture particulière et ce quel que soit le type de logement habité.



### 5-10-7 Satisfaction des habitants

Ce sondage permet de comparer les taux de satisfaction moyenne notés de 1 (pas satisfait) à 7 (totalement satisfait) [Emery, 2005] comme décrit dans la partie I (Tableau 1-2), entre les différents types d'habitat de Djeddah pour les différents facteurs physiques affectant le confort : l'humidité, l'odeur de l'air, le bruit de la climatisation, la ventilation naturelle, l'éclairage artificiel et l'éclairage naturel (Figure 5-29).

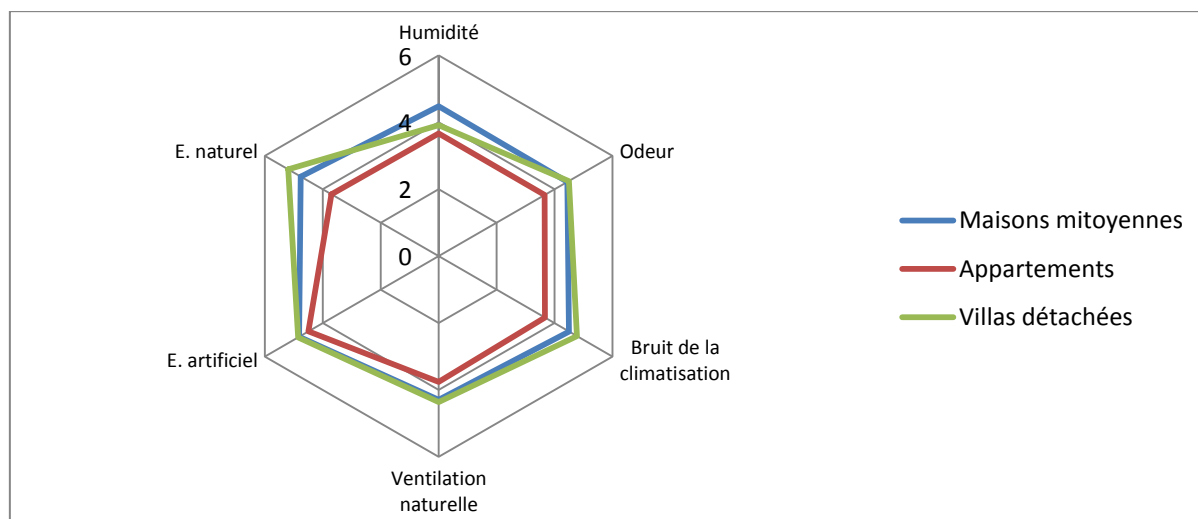


Figure 5-29 : La répartition des satisfactions de confort pour les 3 types d'habitat.

### 5-10-8 Consommation énergétique

Les appartements semblent être le type d'habitat où la satisfaction est la plus basse, ce qui pourrait être expliqué par le fait que ce type de logement n'est isolé que dans 18% des cas, et ne bénéficie de doubles vitrages que dans 12% des cas. Pourtant c'est l'appartement qui utilise le moins d'électricité pendant les pics de consommation qui a la facture la plus élevée : 6,30 euros par mètre carré soit 22,05 kWh/m<sup>2</sup>/mois, mais c'est aussi le type d'habitat le plus petit en terme de surface, ce qui engendre des factures sensiblement équivalentes à celle des villas détachées (Tableau 5-3). Cependant ce chiffre est une moyenne et peut largement varier d'une habitation à l'autre. Les villas détachées apparaissent comme les moins consommatrices en matière d'énergie, 50% d'entre elles sont isolées et leur très grande taille permet de baisser le coût au m<sup>2</sup> par rapport aux autres bâtiments car les pièces ne sont jamais toutes utilisées fréquemment.

Le taux de satisfaction moyenne quant à l'inertie thermique des appartements est relativement bas : 3,82/7 contre 4,21 pour les villas détachées, mais la dernière place revient aux maisons mitoyennes qui satisfont peu les habitants avec une moyenne de 3,52/7.

	Surface (m <sup>2</sup> )	Facture (euros/m <sup>2</sup> )	Consommation moyenne (kWh/m <sup>2</sup> /an)
Appartements	216	6,35	265
Villas attachées	368,5	3,6	150
Villas détachées	578	2,94	122

Tableau 5-3 : Valeurs moyennes de consommation selon le type de logement et la surface.

Nous avons calculé la consommation d'énergie moyenne annuelle avec la consommation d'énergie mensuelle multipliée par douze.

### 5-10-9 Différences de satisfaction selon l'orientation du logement

Il faut cependant prendre en compte l'orientation des logements étudiés, ainsi il est possible de déduire plus aisément les causes possibles provoquant des inconforts ou au contraire une satisfaction élevée. En comparant les taux de satisfaction moyens, on se rend compte sans surprise que c'est la façade Nord qui est jugée la plus confortable (avec 4,65/7) ce qui est en lien avec le fait que les habitants déclarent préférer la façade Nord pour plus de 60% des habitants. La façade Sud est moins appréciée avec un taux de satisfaction moyen de (4,59/7) mais l'orientation jugée la plus mauvaise au niveau du confort physique est l'Est (Figure 5-30).

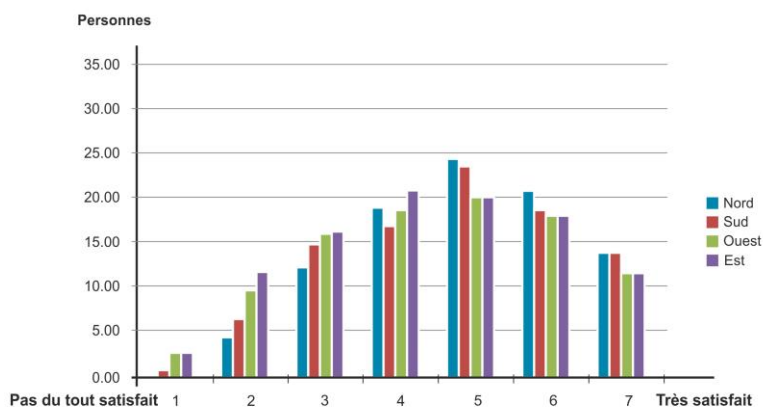


Figure 5-30 : Le confort physique vu par les habitants en fonction de l'orientation.

Pour les façades Sud et Ouest on peut observer une certaine hétérogénéité quant à la distribution des taux de satisfactions. Cela peut en partie être expliqué par la situation des logements : par exemple pour l'orientation Ouest, certains n'ont pas de voisins et reçoivent donc les vents humides de l'océan et du soleil en fin de journée, cela va donc impacter la ventilation naturelle et le taux d'humidité des zones exposées, ainsi que la lumière du jour. Ceux qui ont des voisins assez proches vont par contre bénéficier d'un masque solaire et au vent qui va permettre aux habitants de pouvoir ventiler plus souvent et de ne pas recevoir trop d'air saturé en humidité. Les dispositifs architecturaux, comme par exemple le moucharabieh, viennent aussi impacter le niveau de satisfaction comme nous avons pu le voir dans la partie III de cette thèse, ainsi avec des orientations telles que l'Ouest ou le Sud on peut avoir de grandes disparités de satisfaction (Figure 5-31) selon le bâtiment étudié, alors que pour une façade Nord, tous ces dispositifs n'auront pas autant d'impact sur le confort physique.

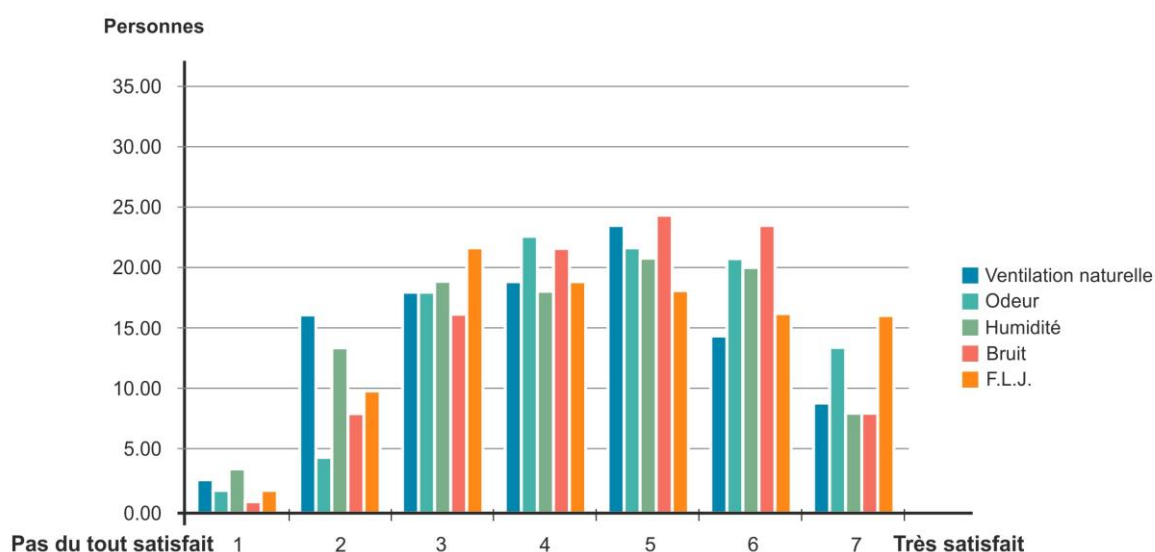
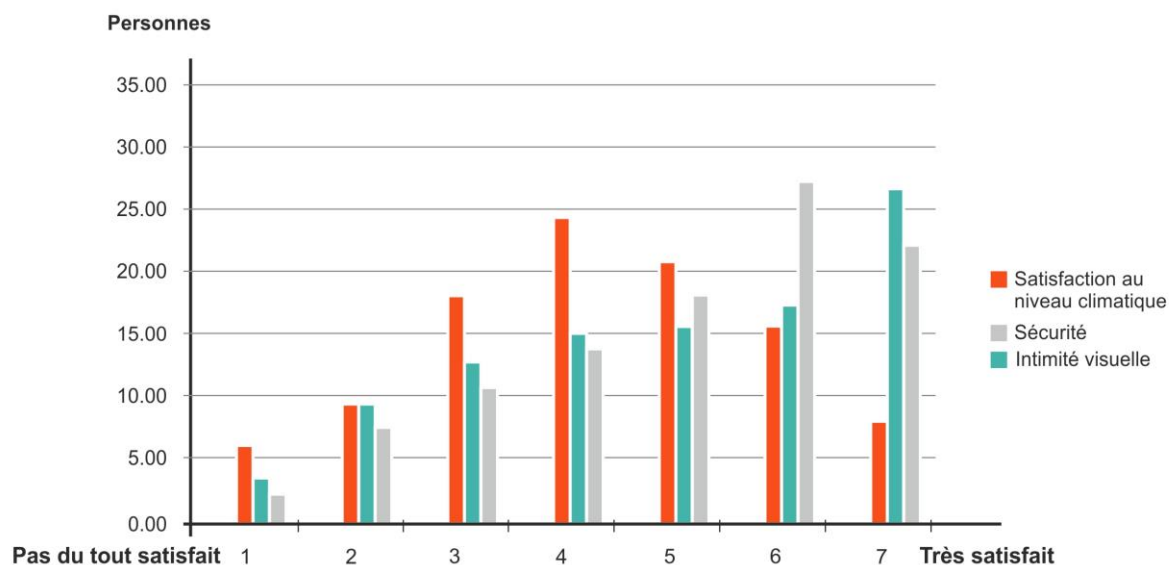


Figure 5-31 : La distribution des taux de satisfaction en fonction de chaque paramètre pour une pièce orientée Ouest.

### 5-10-10 Satisfaction sociale des habitants

Nous allons maintenant voir quel rapport il peut exister entre les paramètres et le taux de satisfaction physique d'un habitant, et la satisfaction sociale, notamment le sentiment de sécurité et d'intimité des habitants.



**Figure 5-32 : Rapport entre satisfaction physique et satisfaction sociale.** Le diagramme montre que les personnes ont tendance à rechercher une intimité visuelle plutôt qu'une satisfaction au niveau climatique.

On peut observer sur la (Figure 5-32) que les sentiments et sécurité et d'intimité sont très certainement liés : plus le bâtiment et l'environnement urbain intimisent les habitants, plus ils se sentent en sécurité. Par exemple plus on connaît ses voisins, plus les sentiments de sécurité et d'intimité sont renforcés, de plus nous avons mis en évidence dans la partie III que les moucharabiehs et les rowshans permettaient aux habitants d'observer ce qu'il se passe à l'extérieur tout en étant à l'abri des regards (Figure 5-15). Le confort physique est impacté par ces paramètres : les moucharabiehs permettent de ventiler, intimiser, apporter de la lumière, la forme urbaine permet de ralentir les mouvements de l'air et créer de l'ombre. Pourtant on observe cette dissociation de la satisfaction physique, de l'intimité et le sentiment de sécurité de l'habitant -vers 5/7 de taux de satisfaction, (Figure 5-34)- qui pourrait venir d'habitats et de tissus urbains, certes très intimes et sécuritaires, qui isolent trop de l'extérieur et finissent par être trop sombres, trop humides et mal ventilés. De plus dans certains nouveaux quartiers, c'est l'effet inverse qui se produit : peu de voisins et donc le soleil qui peut facilement pénétrer à l'intérieur d'un logement et le chauffer ainsi que le vent qui vient s'engouffrer, apporter l'humidité de l'océan, etc.

## 5-11 Analyses et comparaisons de données quantitatives sur le confort intérieur

Une campagne de mesures a été effectuée sur 67 jours dans plusieurs espaces de différents logements entre Juin et Août 2013 dans la ville de Djeddah. Des enregistreurs « *HOBO U12-012* » ont été utilisés pour récolter des données plusieurs fois par jour (intervalle de 10 minutes) sur la température en degrés Celsius de l'espace intérieur, le taux d'humidité relative en pourcentage de vapeur d'eau dans l'air et l'éclairement de la pièce en *lux* (Figure 5-33). Ces données ont ensuite été récupérées sur ordinateur à l'aide du logiciel (HOBOWare) et ensuite importées, notamment sur Excel et sur (Autodesk Ecotect), logiciel de simulation thermique, acoustique, d'éclairement, etc.

### 5-11-1 Conditions extérieures pendant les périodes d'étude

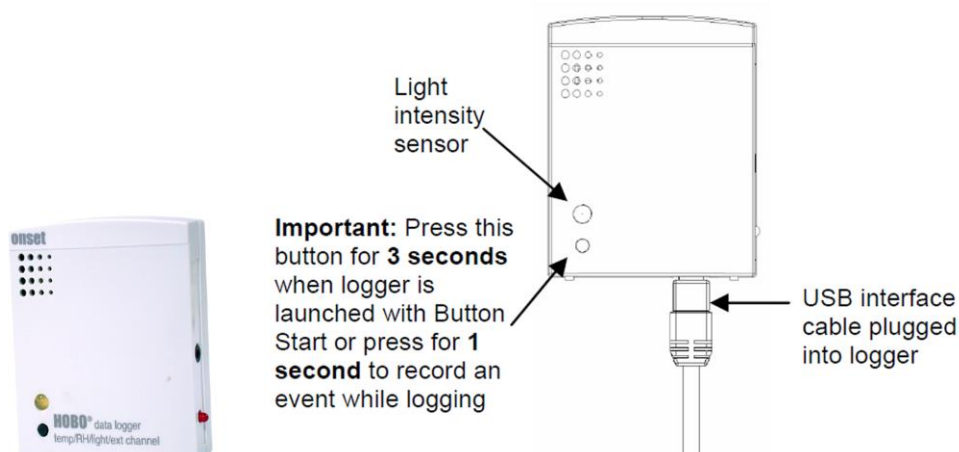


Figure 5-33 : L'enregistreurs HOBO U12-12.

Les loggers HOBO sont équipés de plusieurs capteurs leur permettant de récolter les données recherchées. Le nombre de data loggers disponibles était de 3, ce qui a permis l'analyse simultanée de 3 logements différents. L'intérêt de prendre des mesures simultanées étant de pouvoir comparer le comportement des ambiances physiques des espaces mesurés avec des conditions climatiques strictement équivalentes (les 3 logements se situent à Djeddah).

### 5-11-2 Sites d'étude

Pour l'étude des données quantitatives relatives au confort physique dans l'habitat à Djeddah (température, hygrométrie, éclairage), 3 pièces pour 3 logements ont accueillis les enregistreurs. Ces lieux ont été soigneusement choisis car ils représentent les 3 types d'habitats traditionnels à Djeddah avec des personnes aux mentalités et situations (notamment urbaine) différentes.

#### 5-11-2-1 Un appartement A (Figure 5-34)

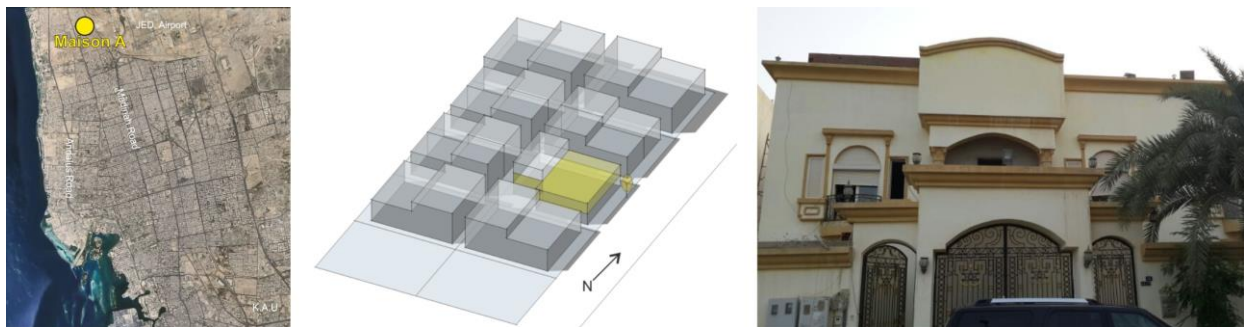


Figure 5-34 : Situation du logement A ; par l'auteur.

Le premier logement concerné est un appartement (A) dont le séjour a été l'espace mesuré. Il est orienté à la fois au Nord et à l'Est. Il n'y a pas de voisins à l'Est sur au moins 300 m et la façade donne sur une voie de circulation de 16 m de largeur. Les deux façades sont ouvertes sur l'extérieur et le dispositif utilisé pour masquer la lumière directe du soleil est un volet roulant extérieur empêchant pratiquement toute lumière, même indirecte, de pénétrer dans l'espace intérieur (Figure 5-35).



Figure 5-35 : Emplacement de l'appareil de mesure ; par l'auteur.

### 5-11-2-2 Une maison attachée B (Figure 5-36)

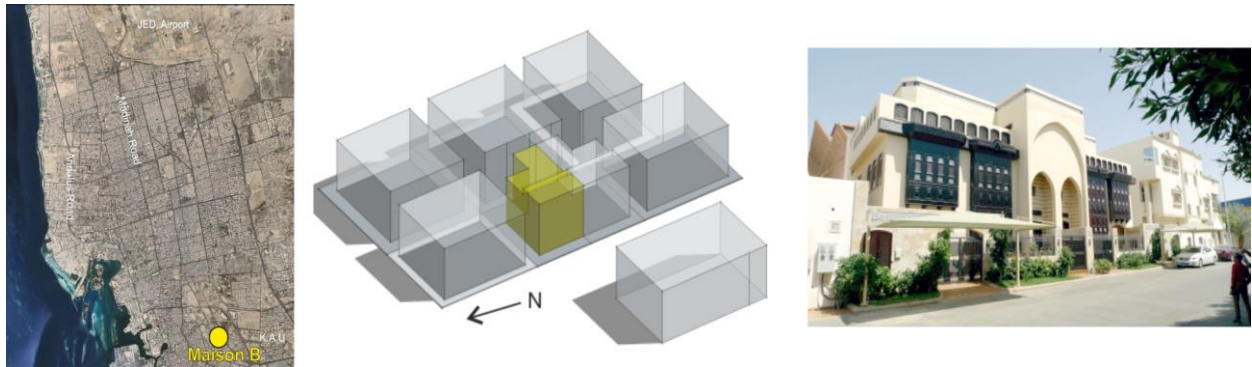


Figure 5-36 : Situation du logement B ; par l'auteur 2013.

Pour ce logement, la grande salle de séjour a été étudiée, orientée Est et Nord elle aussi, ses façades sont cependant moins exposées au soleil et aux vents car les façades sont assez proches de celles des voisins (la façade est seulement à 6 m de celle des voisins), de plus ces façades donnent sur un espace extérieur privatif avec une piscine prenant une grande partie de la surface.

Ce logement a été choisi pour une raison particulière : l'habitant l'a conçu lui-même et a pris en compte ses propres besoins en matière de confort physique et social (Figure 5-37).

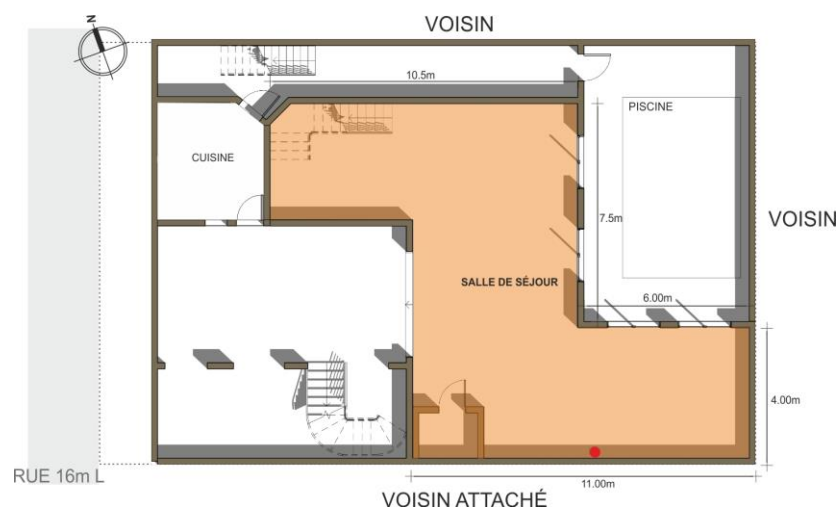


Figure 5-37 : Emplacement de l'appareil de mesure ; par l'auteur.



### 5-11-2-3 Un appartement duplex C (Figure 5-38)

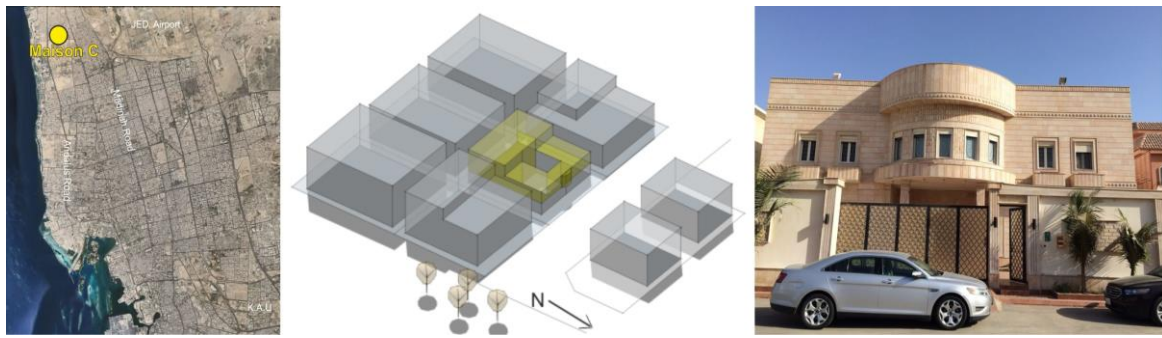


Figure 5-38 : Situation du logement B ; par l'auteur.

Ici aussi la pièce étudiée est le séjour de l'appartement, celui-ci est orienté Sud et Est avec une ouverture au Sud et des voisins situés de l'autre côté d'une ruelle de 4 m de largeur passant devant les deux façades.

Notons que les habitants ont pour habitude de laisser fermer la salle de séjour et ne l'utilisent pas énormément. Ce détail est très important car il est susceptible d'influer sur les résultats (Figure 5-39).

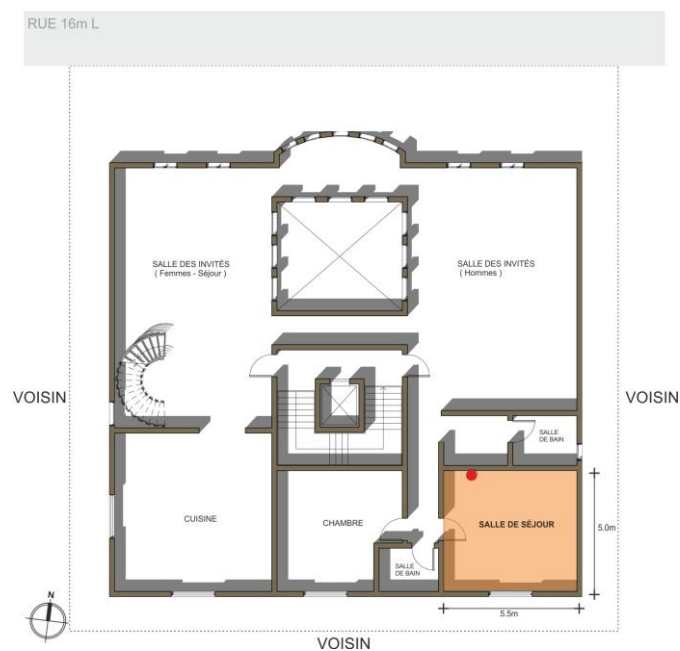


Figure 5-39 : Emplacement de l'appareil de mesure ; par l'auteur.



### 5-11-3 Mesures et interprétations

Suite à un problème au niveau de la prise de mesures de luminosité dans le logement C, l'analyse des résultats en *lux* n'a pu être effectuée que sur les logements A et B. Les résultats de température et d'humidité relative n'ont cependant pas été affectés.

Les logements ont tous des systèmes d'occlusion/ombrages, par exemple le logement A à un système de volet roulant, le logement B à un système de lamelles de bois qui vient fermer l'espace en hauteur pour garder son intimité par rapport aux voisins.

### 5-11-4 La luminosité

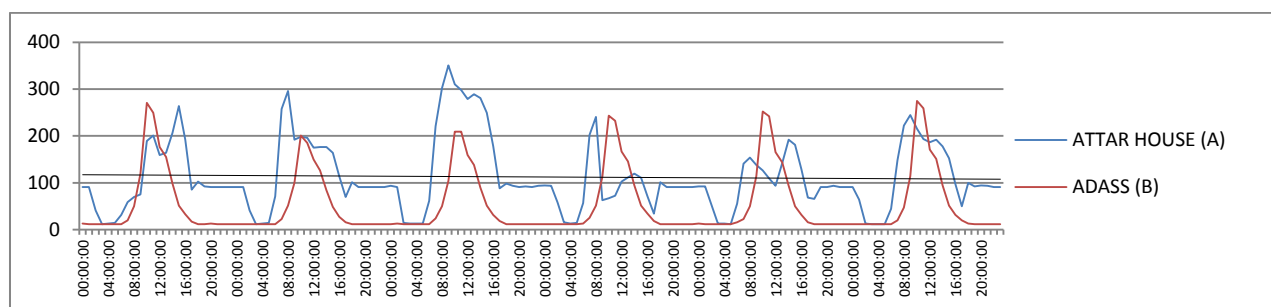


Figure 5-40 : Variation des niveaux d'éclairement (*lux*) en fonction du temps sur une semaine, logements A et B.

Sur la (Figure 5-40), on peut facilement observer que le logement A apparaît comme un peu plus lumineux en général que le logement B. Les pics de luminosité sont cependant atteints à des moments différents de la journée et le logement B apparaît comme plus régulier au niveau du niveau d'éclairement au long de la journée. Le 3<sup>ème</sup> jour, le logement B atteint à peine plus de 200 Lx maximum, alors que le niveau d'éclairement du logement A atteint 350 Lx, ce qui représente un espace clair, cette différence peut être expliquée par le fait que sur la façade Est, le séjour du logement A n'a pas de masque créé par des voisins alors que sur la façade Est du logement B, le bâtiment voisin limite l'apport en lumière naturelle du séjour. L'irrégularité de la courbe d'éclairement du premier logement vient très probablement du fait du système d'occlusion : les volets roulants qui sont ouverts correspondantes aux grands pics du matin, puis quand l'habitant ferme ces volets pour empêcher les rayons du soleil du

matin (car façade orientée est) la luminosité chute drastiquement. L'habitant étant un retraité qui reste à la maison une grande partie de la journée, cela appuie cette hypothèse.



Figure 5-41 : De gauche à droite : le séjour A, le séjour B et le séjour C.

Sur les photos de la Figure 5-41 on peut ressentir les ambiances lumineuses des 3 habitats, les séjours A et C paraissent alors peu clairs (surtout le logement A) alors que le séjour B paraît assez clair. On peut observer quand dans les deux cas (A et B) de figure, le niveau d'éclairement chute après-midi (12 : 00 : 00 PM) car les deux façades étant orientées Est, le soleil passe alors au zénith puis redescend à l'Ouest, tandis que la façade Nord capte en continu de la lumière avec un niveau d'éclairement maximum aux alentours de midi. En début d'après-midi, dans le logement B on peut noter un léger sursaut de luminosité vers 13h tous les jours, ce qui correspond certainement à la lumière réfléchiée par le mur face aux baies côté Est, de la lumière directe du soleil venant à partir de cette heure-ci de l'Ouest. Le regain de luminosité à partir de 17h pour le logement A correspond à l'allumage de l'éclairage artificiel, c'est pour cela que la courbe est relativement plate en fonction du temps à partir de ce moment. Le bâtiment B était vide au moment de cette capture, c'est pour cela qu'on ne détecte pas d'allumage d'éclairage artificiel.

On peut également noter certaines différences au niveau des configurations spatiales des deux séjours : le séjour A est plus petit et semble être un peu plus clair au niveau des matériaux muraux que le séjour B.

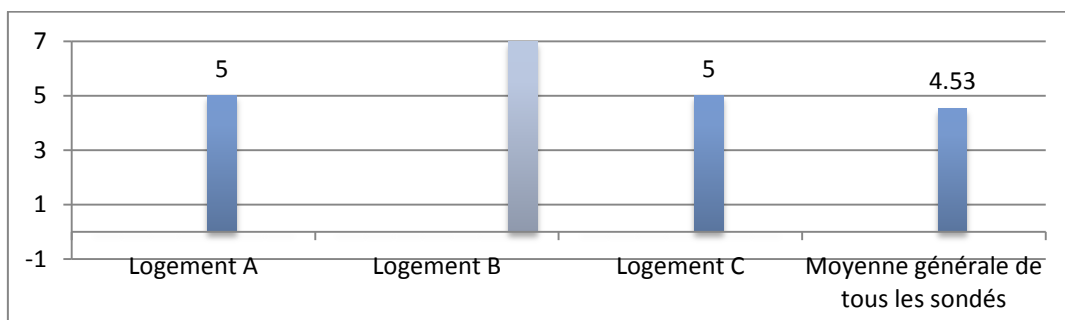


Figure 5-42 : Taux de satisfaction quant à l'éclairage naturel des logements et comparaison avec la moyenne de tous les sondés

En comparant les taux de satisfaction des deux familles quant à l'éclairage naturel, on voit que l'habitant du logement A l'a notée à 3/5 alors que l'habitant du logement B l'a notée à 5/5, c'est à dire très satisfait (Figure5-42). On peut en déduire que le fait de ne pas avoir de voisins pour le logement A a apporté trop de lumière et ils doivent alors compenser cela avec le volet roulant tout au long de la journée ce qui provoque des inconforts et des contraintes. Ce changement quasi permanent de luminosité est facilement identifiable sur la courbe de la figure 5-40. On peut observer que malgré cela, les 3 habitants de nos cas d'étude sont tous au-dessus de la moyenne générale.

L'apport de lumière naturelle est très influencé par la présence ou non de voisins et de systèmes pour intimiser les espaces, cette relation à l'intimité sera développée plus loin dans cette partie, mais cela indique déjà une forte propension à sacrifier le confort physique pour apporter de la satisfaction sociale.

D'après le Tableau 5-4, issu du livre de Mme Dubois, nous constatons que le cas idéal de confort d'éclairage dans un logement se situe entre 2 et 5% de l'éclairage extérieur.

Indicateur de performance	Interpretation
<b>Facteur lumière du jour</b>	
< 1 %	Inconfortable
1-2 %	Assez confortable
2-5%	Idéal
> 5 %	Trop lumineux
<b>Eclairage du plan</b>	
<b>travail</b>	
<100 lux	Inconfortable
100-500	Assez confortable
>500	Trop lumineux

Tableau 5-4 : les niveaux des confort lumineux dans l'espace intérieur ; [DUBOIS, 2001] .

### 5-11-5 Températures et humidité relative

En plus de la luminosité, des données sur la température et l'humidité relative de chaque séjour étudié ont été récoltées pendant la campagne de mesures (Figures 5-43, 5-44, 5-45). Les valeurs ont été notamment intégrées sur un diagramme psychrométrique sur le logiciel **AUTODESK Ecotect** (servant notamment aux simulations thermiques dynamiques, rayonnement solaire, etc.) dont le fonctionnement et l'utilisation seront plus détaillés dans le chapitre 6 de cette thèse. Ceci afin de pouvoir les analyser facilement, cependant les zones de confort indiquées sur ceux-ci sont à prendre avec précautions, car elles sont surtout valables pour les ambiances extérieures [BOURGEOIS, WARD ET REINHART, 2011]. Les diagrammes psychrométriques sont un outil très pratique afin de définir l'ambiance d'un espace à partir de données simples comme la température et l'humidité relative de cet espace et permet donc de comprendre d'où peuvent provenir les sources d'inconfort et comment améliorer la qualité de vie de l'espace<sup>2</sup>.

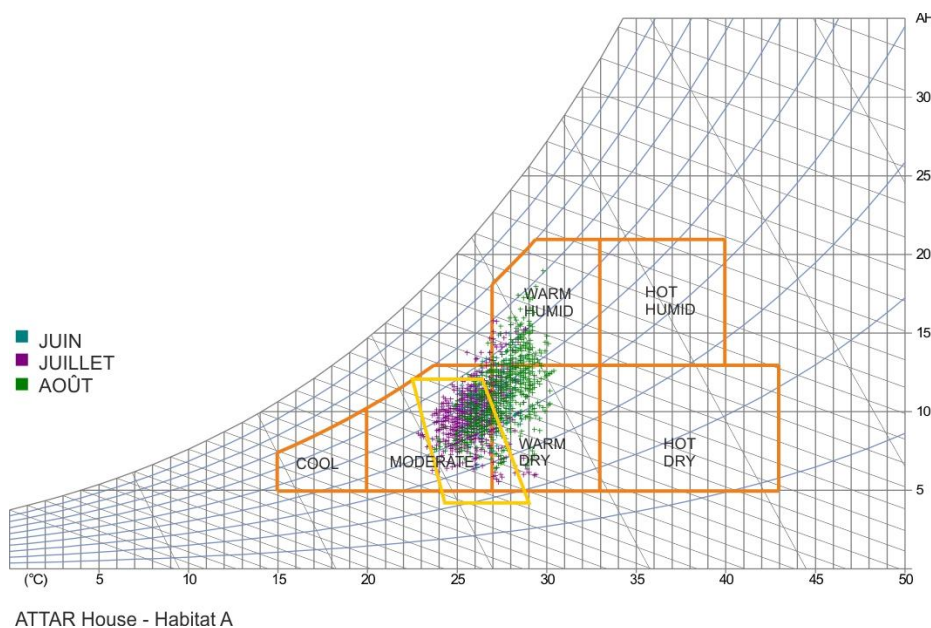
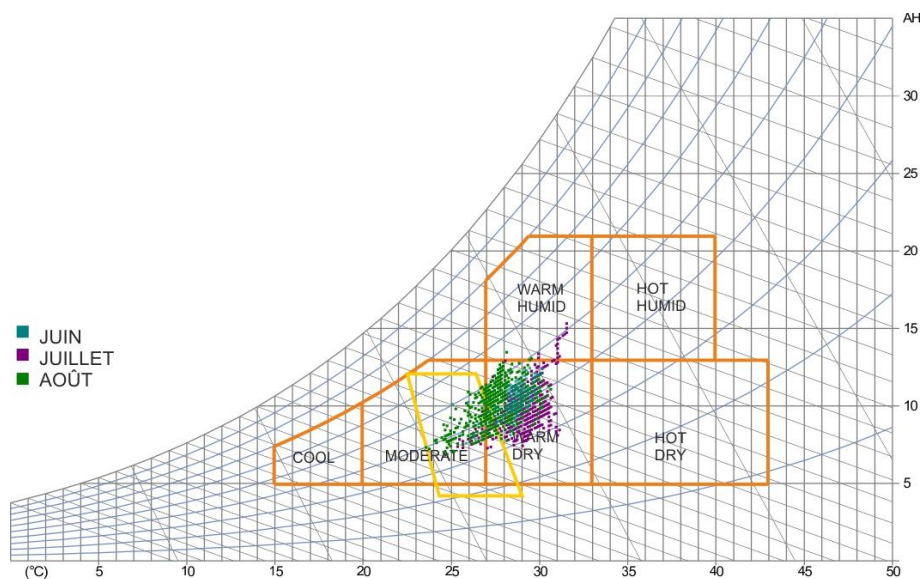


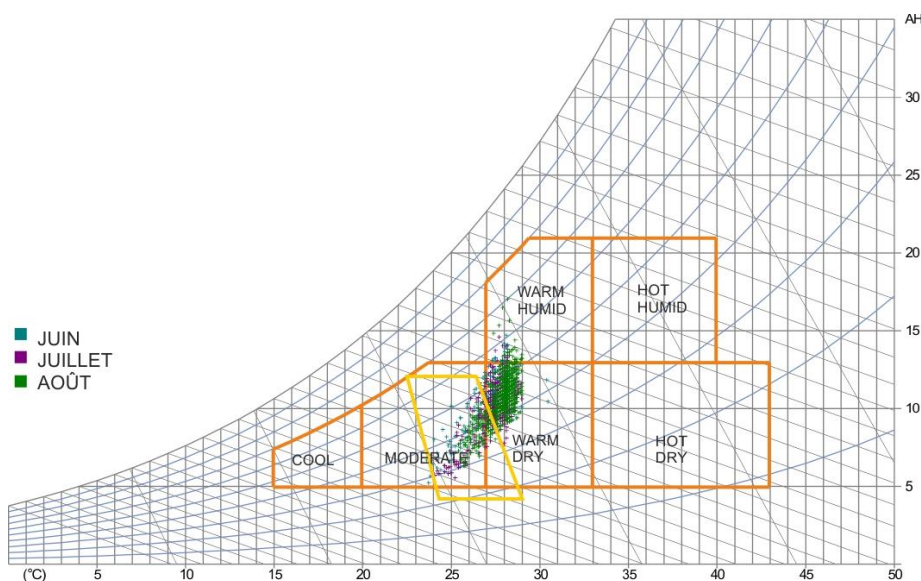
Figure 5-43 : Diagramme psychrométrique avec les données du logement A intégrées ; par l'auteur.

<sup>2</sup> "Paper 601 : Climate Analysis and Strategies for Bioclimatic Design Purposes" – 25<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22<sup>nd</sup> to 24<sup>th</sup> October 2008.



Adass House - Villa B

Figure 5-44 : Diagramme psychrométrique avec les données du logement B intégrées ; par l'auteur.

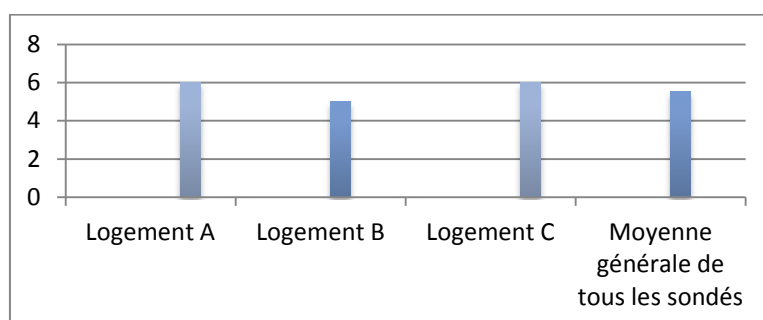


ABULLATIF HOUSE - HABITAT C

Figure 5-45 : Diagramme psychrométrique avec les données du logement C intégrées ; par l'auteur.

On peut observer d'après les figures 5-43 et 5-44 que le logement A paraît plus humide que le logement B. Malgré cela, l'ambiance thermique du logement A se rapproche plus de la zone de confort que celle du logement B. La répartition des températures et de l'humidité du logement C est comparable au logement B : entre un peu chaud et sec et un peu chaud et humide d'après la figure 5-45 mais la répartition est moins éparse pour le logement C et se

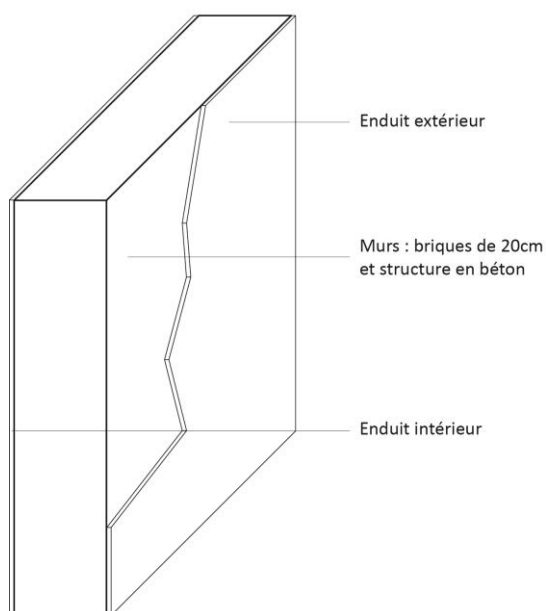
concentre en partie un peu chaude et sèche (warm dry). Le logement C semble avoir un conditionnement de l'air plus forcé que les autres car les valeurs tournent globalement autour d'une valeur fixe. Cette hypothèse semble très probable car les utilisateurs ferment généralement cet espace par rapport à l'extérieur, où la température se situait entre 28°C et 30°C (voir Figure 5.4) et par rapport aux autres espaces intérieurs, ce qui limite les échanges et donc les trop grandes variations. Le logement B quant à lui semble avoir un confort plus naturel.



**Figure 5-46 : Facteur d'utilisation du système de climatisation noté de 1 (pas utilisé) à 7 (tout le temps utilisé) des 3 logements étudiés et de la moyenne de tous les sondés.**

Ces données sont comparées au sondage et notamment au facteur d'utilisation du système de climatisation (Figure 5-46). On peut y observer que l'habitant du logement B déclare un facteur d'utilisation de 5/7 tandis que les habitants des logements A et C, eux, estiment ce même facteur à 6/7. Cette donnée vient corrélérer la relation que nous avons conjecturée à propos des logements B et C précédemment. Le bâtiment B est, comme précisé auparavant, le seul des trois à bénéficier d'une isolation, celle-ci est extérieure ce qui explique la notation de l'habitant 6/7, (Figure 5-47) sur le fait qu'après l'arrêt de la climatisation, le logement garde sa fraîcheur, c'est l'effet d'inertie thermique : les matériaux de construction comme la brique, le marbre, gardent la fraîcheur du bâtiment car en contact avec l'intérieur et diffusent cette fraîcheur dès l'arrêt de la climatisation en absorbant les calories de l'air (des apports internes et externes). De plus nous pouvons remarquer que le logement B est aussi bien au-dessus de la moyenne générale de tous les sondés à Djeddah (Tableau 5-5, 5-6).

Composition des murs des logements A et C



Composition des murs du logement B

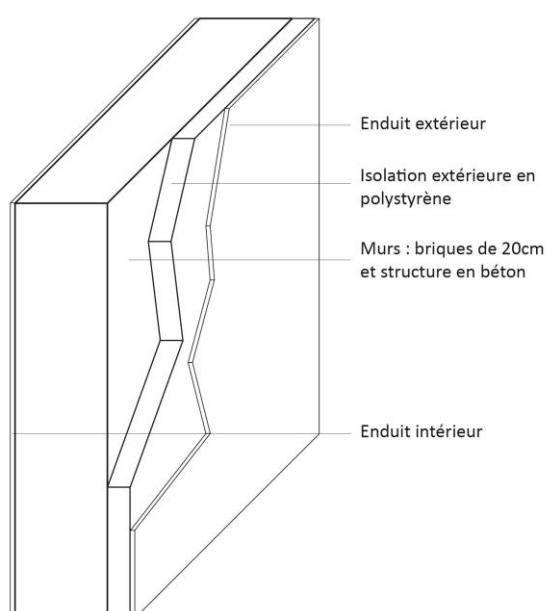


Figure 5-47 : Installations de l'habitant du logement B pour préserver son intimité et comparaison du taux de satisfaction quant à ce paramètre par rapport aux autres habitants .

Matériau	Conductivité $\lambda (W.m^{-1}.K^{-1})$	Epaisseur e (m)
Enduit intérieur	1,2	0,02
Brique	1,7	0,2
Enduit extérieur	1,2	0,02

Tableau 5-5 : Matériaux composant les murs, leurs conductivité thermique et leur épaisseur pour les logements A et C.

Matériau	Conductivité $\lambda (W.m^{-1}.K^{-1})$	Epaisseur e (m)
Enduit intérieur	1,2	0,02
Brique	1,7	0,2
Isolant (polystyrène)	0,042	0,07
Enduit extérieur	1,2	0,02

Tableau 5-6 : Matériaux composant les murs, leurs conductivité thermique et leur épaisseur pour le logement B.



L'analyse des différentes compositions des parois extérieures nous permet de mettre en évidence la différence de résistance thermique entre les logements, en appliquant la formule suivante :

$$R = \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{si} + R_{se}$$

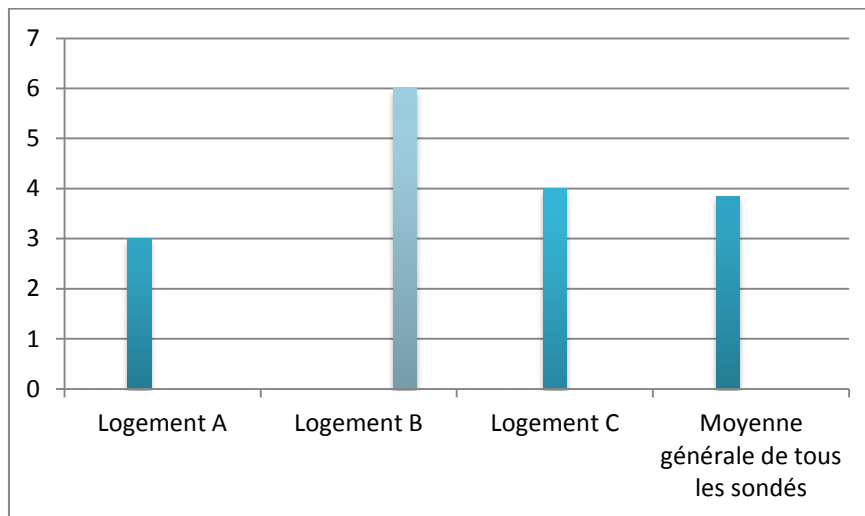
R étant la résistance thermique recherchée (en m<sup>2</sup>.K/W)

e étant l'épaisseur des matériaux (en m)

λ étant la conductivité thermique des matériaux (en W/M/K)

R<sub>si</sub> et R<sub>se</sub> étant les résistances thermiques surfaciques (on prendra des valeurs normatives de R<sub>si</sub> = 0,13 et R<sub>se</sub> 0,04 m<sup>2</sup>.K/W). On obtient alors, suivant les tableaux 5-4 et 5-5, pour les logements A et C : R = 0,32 m<sup>2</sup>.K/W et pour le logement B : R = 1,98 m<sup>2</sup>.K/W.

Les logements A et C sont assez représentatifs des habitats actuels à Djeddah, seuls 28,7% des logements sont isolés selon le sondage, moins de 1 sur 3, ce qui donne des factures élevées pour la plupart des habitants car l'utilisation de la climatisation quasi permanente est alors obligatoire (Figure 5-48).



**Figure 5-48 : Sensation de confort thermique une fois la climatisation stoppée, comparaison avec la moyenne de tous les sondés ; par l'auteur.**

Toujours d'après les sondages, on peut voir que le logement B qui est le plus grand de tous (700-900m<sup>2</sup>), est pourtant celui qui a la facture maximum la moins élevée (701-1000 RS), que l'on peut mettre en relation avec le fait que ce soit le seul des trois à bénéficier d'une isolation des murs périphériques.



### 5-11-6 Satisfactions sociales

Pour le logement B, des protections ont été installées afin de préserver l'intimité visuelle de l'habitant par rapport aux voisins, notamment au niveau de l'ouverture de la piscine (Figure 5-49).

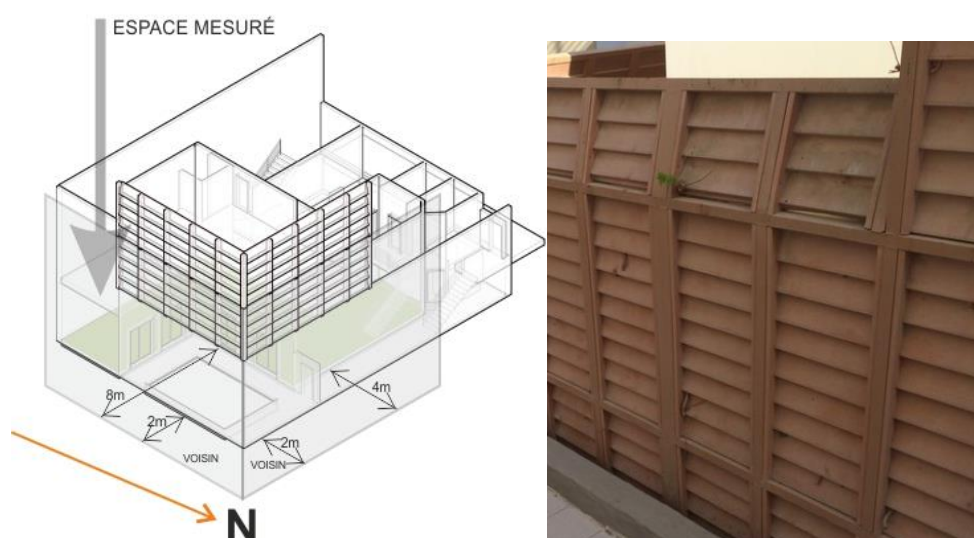


Figure 5-49 : Installations de l'habitant du logement B pour préserver son intimité visuelle par rapport à son voisin, ce dispositif fait office d'écran.

L'habitant du logement B est celui qui déclare être le plus satisfait par rapport au sentiment d'intimité visuelle dans l'habitation. Ce cas est très particulier car il bénéficie d'un confort physique et social tous deux très élevés (Figure 5-50, 5-51).

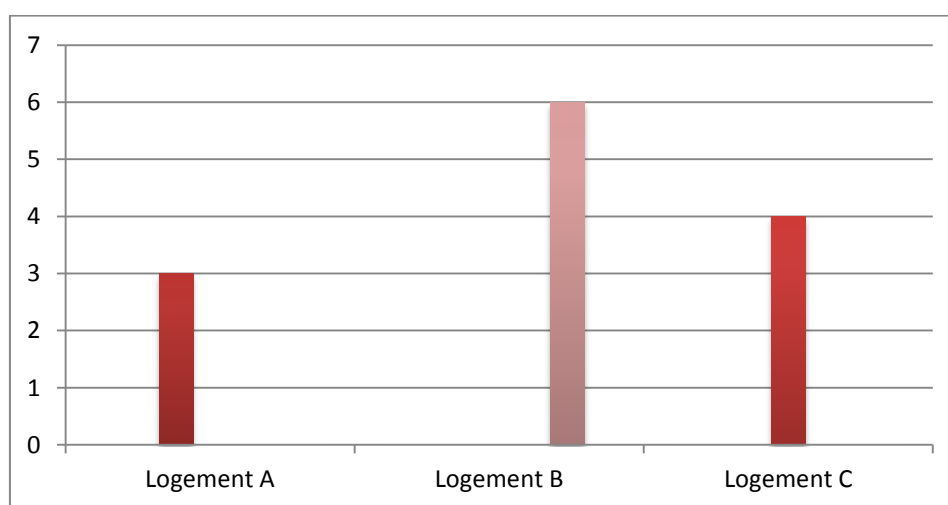


Figure 5-50 : Comparaison de la satisfaction quant à la sensation d'intimité visuelle pour chaque logement.

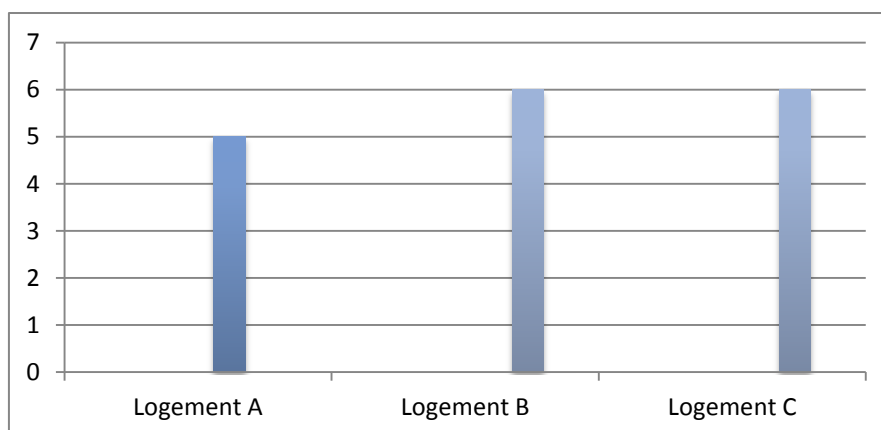


Figure 5-51 : Taux de satisfaction des habitants par rapport à la sécurité du quartier.

Nous pouvons voir ici une corrélation entre la satisfaction physique et les deux facteurs sociaux qualifiés au niveau de la satisfaction (sécurité et intimité) semblable à celle observée dans la partie suivante (Figure 5-52) : si le confort physique monte, le confort social baisse légèrement et vice versa. Ces trois cas d'études nous démontrent aussi l'importance d'avoir un large échantillon de personnes sondées pour affiner les résultats et mieux interpréter les cas particuliers, par exemple l'habitant du logement B qui obtient des résultats plus élevés que la moyenne. Cette personne a non seulement conçu lui-même son habitation mais l'a dupliquée (en symétrie) pour son frère. Il a dès le départ pensé au confort physique avec l'usage de fenêtres à double vitrages performants ainsi qu'une isolation par l'extérieur qui lui permet de profiter de l'inertie des matériaux de construction (la brique notamment), mais il a aussi pris en compte sa satisfaction sociale (notamment l'intimité) avec l'installation de dispositifs cachant la vue des voisins vers son séjour et sa piscine.

L'intimité est un facteur très important pour les habitants de Djeddah, ainsi comme nous avons pu le voir précédemment des systèmes sont rajoutés aux habitations, pour le logement B ce système était déjà prévu dans la conception et sa configuration spatiale (espace extérieur relativement large du fait de la présence de la piscine) n'empêche pas trop la lumière du jour de pouvoir entrer dans les espaces intérieurs. Cependant dans les autres logements, différents dispositifs ont été mis en œuvre pour intimiser les espaces : pour le logement A c'est tout simplement un volet roulant comme nous l'avons vu précédemment et qui vient donc créer un inconfort par rapport à la lumière naturelle :

pour le logement C, c'est un dispositif d'écran entre les deux maisons (la sienne et celle du voisin) qui vient masquer une grande part de la lumière naturelle du fait de la faible largeur

du puits de jour (environ 2m), de plus cet élément ne reflète que très peu la lumière, ce qui a pour effet de diminuer la luminosité dans l'espace de séjour.

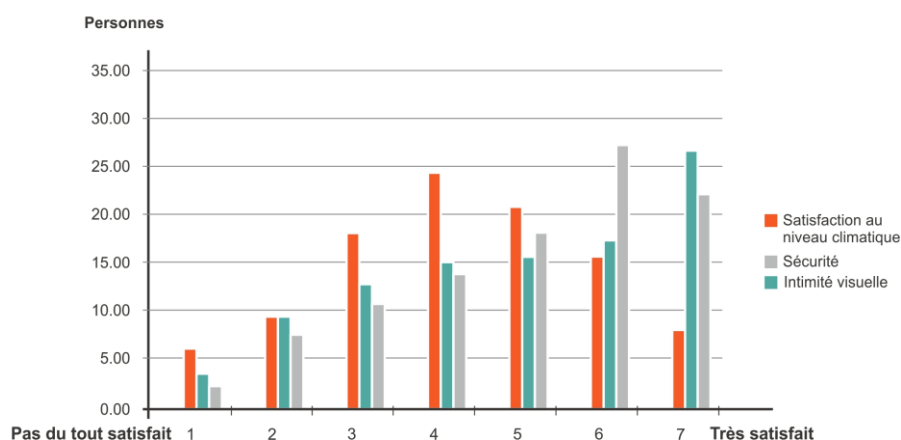


Figure 5-52 : Rappel de la courbe des satisfactions de la partie précédente.

Les deux logements (A et B), de par leur situation urbaine et leur conception différentes, bénéficient d'ombrages sur les façades des espaces mesurés complètement différents (figure 5-53 et tableau 5-7). En effet, on remarque que les ombres sont beaucoup plus présentes et franches sur ces façades que pour le logement C qui est pourtant orienté de la même manière.

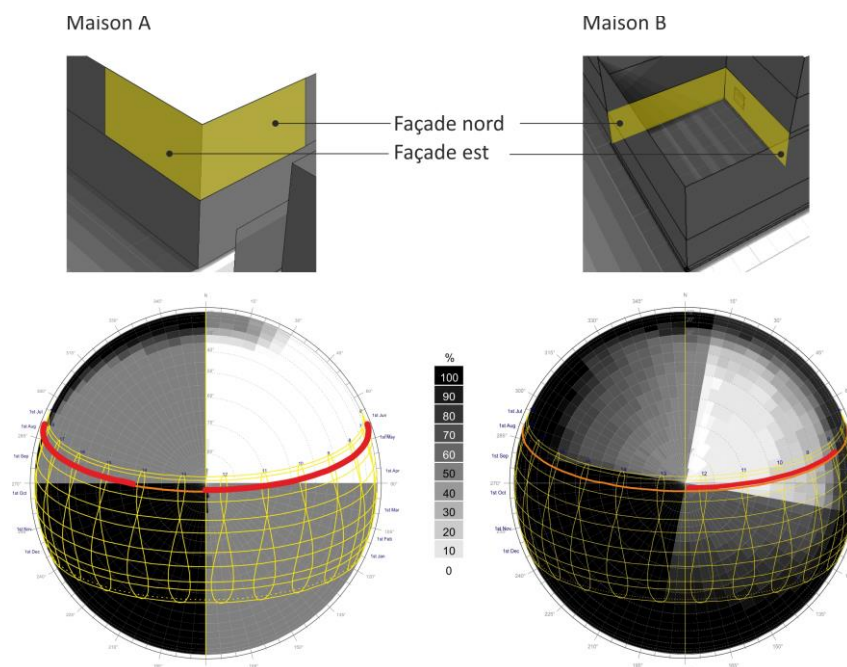


Figure 5-53 : Ombrages des façades des logements A et B (réalisé avec Autodesk Ecotect). La courbe rouge représente les heures où l'éclairage direct est présent; par l'auteur.

La principale raison de cette différence est la conception même des logements : le séjour (l'espace mesuré) de la maison B est semi enterré et les ouvertures donnent sur un espace extérieur avec piscine, sorte de cour privative qui est protégée sur sa hauteur de la vision des voisins. Cette configuration donne lieu à beaucoup de lumière naturelle entrante car l'espace est assez grand pour permettre à la lumière de pénétrer, tout en protégeant les façades de la lumière directe du soleil une grande partie de l'année. A contrario, les façades de la maison A donnent sur un terrain complètement dégagé, ce qui amène deux problèmes : l'éblouissement et la surchauffe due à l'absence de masques solaires. Cette configuration spatiale force les habitants à utiliser leurs volets roulants et donc se priver de toute lumière directe ou indirecte venant de l'extérieur, créant un inconfort certain (voir tableau 5-7).

HOUR	Maison A	Maison B
06:00:00	20%	100%
07:00:00	0%	100%
08:00:00	0%	70%
09:00:00	0%	17%
10:00:00	50%	0%
11:00:00	50%	0%
12:00:00	80%	80%
13:00:00	80%	75%
14:00:00	50%	72%
15:00:00	50%	98%
16:00:00	50%	100%
17:00:00	50%	100%
18:00:00	100	100%

**Tableau 5-7 : Taux d'ombrage (en %) des façades des maisons A et B selon l'heure, date choisie : 18 Juin, sur Autodesk Ecotect puis Excel ; par l'auteur.**

Cela confirme alors que la configuration spatiale et urbaine d'un logement influe énormément sur la qualité des ambiances intérieures pour une même orientation ( Figure 5-54).

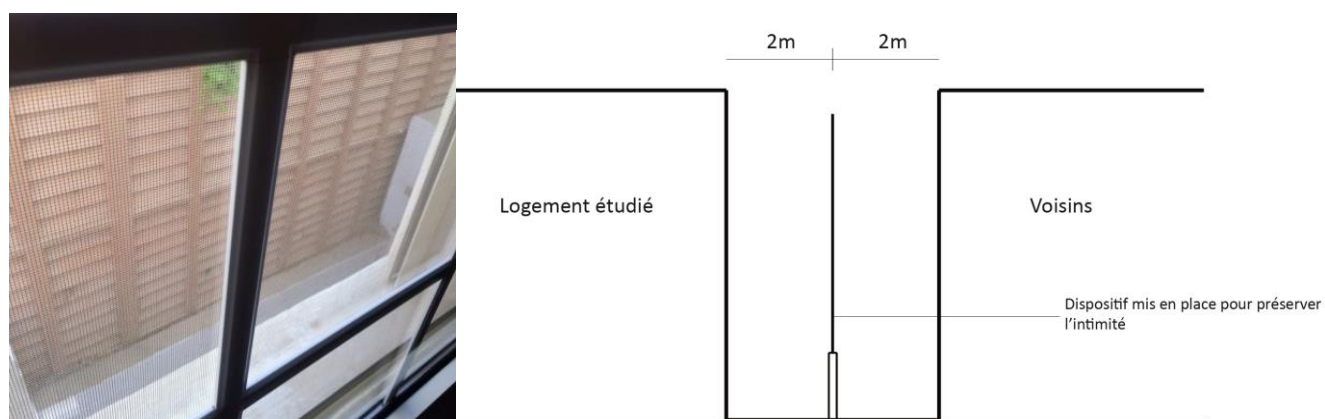


Figure 5-54 : La création d'un système d'écran pour préserver l'intimité visuelle pour le logement C.

## 5-12 Analyses de mesures *in situ* dans un habitat traditionnel

L'ensemble des résultats ont été obtenus à partir de relevés effectués dans une maison traditionnelle vide de toutes présences humaine et matérielle (Figure 5-55). Des données, liées à l'évolution de la température et de l'éclairement au cours d'une journée, ont ainsi pu être collectées sur seulement 48 heures, étant dû au fait que l'habitation soit rattachée à la mairie. Cette dernière n'a alors pu nous délivrer qu'une autorisation temporaire due au récent classement du quartier au patrimoine mondial de l'UNESCO.



Figure 5-55 : La localisation générale du bâtiment examiné.



Les mesures ont été réalisées à partir de 3 boîtiers, dont deux ont été placés dans chacune des deux chambres à l'étage chacune orientée plein Ouest. Les mesures ont alors été faites simultanément mais dans deux configurations différentes : l'une en considérant les stores de l'ouverture entièrement ouverts, et l'autre en les laissant fermés. Enfin, le dernier boîtier fut placé à l'extérieur, fixé sur un des murs (commun aux ouvertures des chambres), mais abrité par une calotte de protection évitant ainsi tout contact direct des rayons solaires avec le capteur (Figure 5-56).



Figure 5-56 : le bâtiment sélectionné et les deux espaces intérieurs examinés

L'ensemble de ces résultats nous a permis de tirer les conclusions majeures suivantes :

Concernant l'évolution de la température, nous remarquons un écart de 4,5°C entre l'intérieur et l'extérieur de la pièce dans le cas d'un rowshan dont les stores sont entièrement ouverts. On peut supposer que cet écart pourrait toutefois être plus élevé, autrement dit une température plus basse à l'intérieur de la chambre, si la ventilation principale avait été ouverte, comme il est le plus souvent le cas lorsque la maison est habitée (ici, celle-ci étant inhabitée, la ventilation avait été obstruée par vitrage). Dans le cas contraire d'une ouverture dont les stores sont fermés, nous remarquons qu'une température relativement constante se maintient dans la pièce (variation maximale de 4°C), (Figure 5-57). L'humidité quant à elle dépasse facilement les 75% d'humidité relative le soir avec le vent d'Ouest portant l'humidité de la Mer Rouge avec lui, ce qui aide au rafraîchissement par la ventilation par l'absorption de l'humidité par le bois constituant le rowshan. On peut en conclure qu'il existe de grandes possibilités de gestion des paramètres d'ambiances avec ce dispositif tant les différences sont flagrantes entre un rowshan ouvert et un autre fermé.

Cela nous permet de conclure quant à une possibilité de maîtriser son environnement, en régulant à souhait la température ambiante en variant ou non l'ouverture des stores.

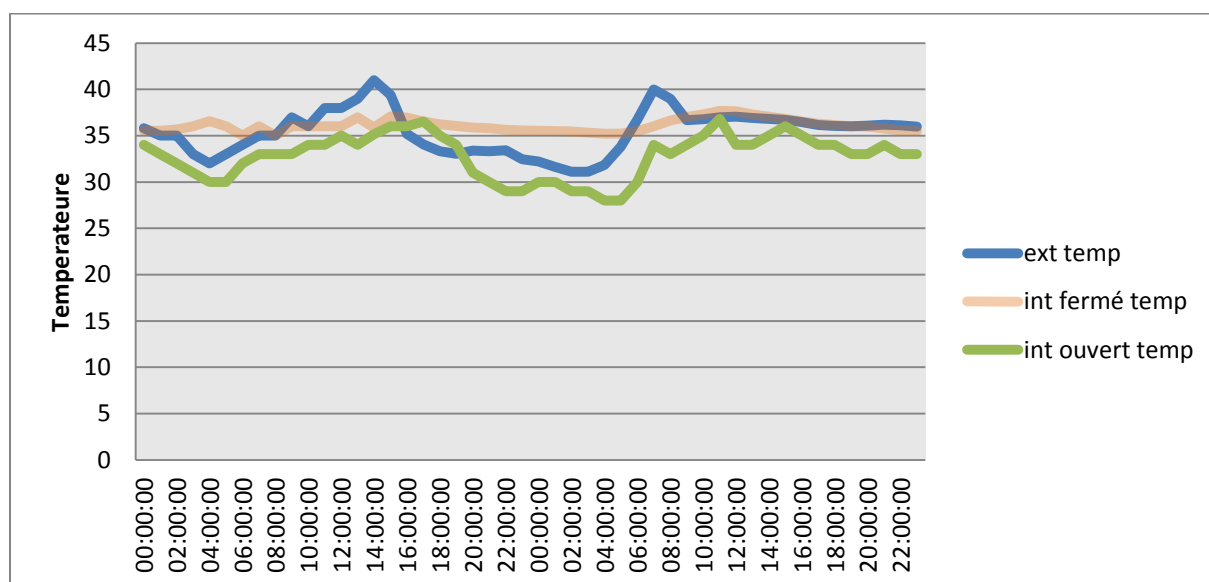


Figure 5-57 : Variation des températures entre l'extérieur et l'intérieure. Nous observons qu'il y a une différence de deux heures entre la température extérieure et la température intérieure.

Concernant l'évolution de l'éclairement, nous considérons la hauteur du plan utile à 1m20, la hauteur à laquelle les enregistreurs ont été placés. L'enregistreur placé dans la pièce avec le rowshan ouvert était placé à environ 3,50m de l'ouverture, l'enregistreur placé dans la pièce avec rowshan fermé était au niveau de ce dernier c'est-à-dire à moins d'un mètre de l'ouverture. Nous remarquons que dans le cas d'une ouverture avec les stores entièrement ouverts, les variations à l'intérieur de la chambre suivent logiquement celles de l'extérieur, avec en moyenne un facteur 100 moindre dans la pièce.

En revanche, pour une ouverture dont les stores sont fermés, l'éclairement reste quasiment constant et très faible (variation moyenne entre 11,8 et 24,6 lux).

Nous pouvons, en comparaison, observer les résultats liés au boîtier extérieur où un maximum de 25 000 *lux* est atteint en début d'après-midi (vers 14h00), (Figure 5-58).

Précisons, une fois de plus, que cette valeur est somme toute relative puisque le boîtier possède une protection le privant du rayonnement solaire direct. Dans le cas contraire, un maximum de 120 000 *lux* aurait pu être atteint.

Ici aussi, nous remarquons qu'il est possible de maîtriser son l'environnement en réglant l'éclairement de la pièce par simple variation ou non de l'ouverture des stores (Figure 5-59).

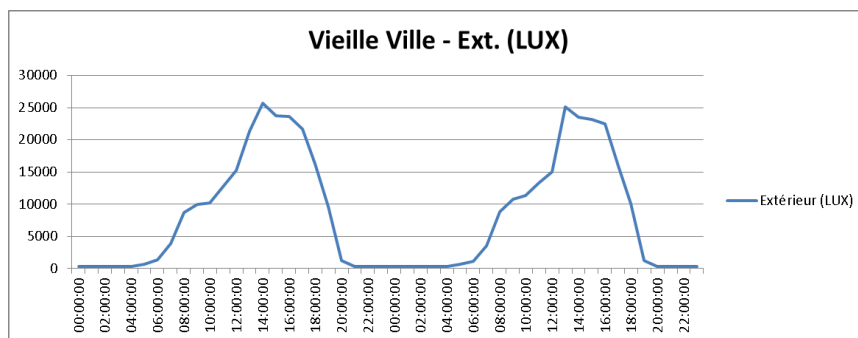


Figure 5-58 : L'éclairement sur la façade extérieure

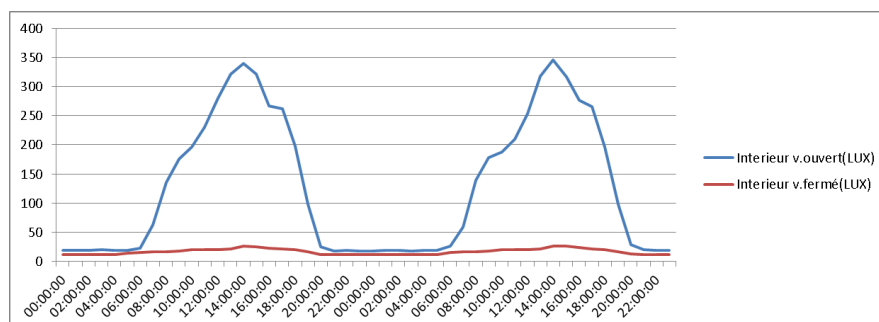


Figure 5-59 : L'éclairement à l'intérieur des pièces mesurées



## 5-13 Conclusion

Nous avons pu voir la relation qu'il existe entre la satisfaction physique et la satisfaction sociale. En effet dans la société de Djeddah, le côté social semble l'emporter sur le confort physique et ce phénomène est très visible avec les rajouts des habitants pour maintenir une certaine intimité dans leur habitat quitte à impacter fortement le confort visuel. De plus dans la plupart des cas ces dispositifs sont des rajouts inesthétiques, du bricolage qui ne met pas en valeur l'architecture.

Le confort thermique est assez négligé car moins d'un logement sur trois est isolé, les habitants comptent sur leur climatisation pour réguler facilement les ambiances, ce qui est très visible sur le diagramme psychrométrique du logement C. Cependant, quelques personnes essaient de concilier les deux aspects du confort (physique et social) comme l'habitant du logement B en tentant d'isoler sa maison tout en créant un grand puits de jour avec une piscine abritée des regards indiscrets.

Le défi de l'habitat durable en Arabie Saoudite et notamment à Djeddah, notre cas d'étude, sera donc de pouvoir concilier la satisfaction physique avec la satisfaction sociale, qu'aucun des paramètres ne fasse de l'ombre à l'autre. Cela passera non seulement par des formes urbaines adaptées à leur environnement physique immédiat, au climat et aux usages tout en gardant les sentiments d'intimité et de sécurité qui existent déjà, il y a donc beaucoup d'enseignements à retirer de l'architecture traditionnelle existante de la ville, cela passera aussi par des enveloppes et surtout des façades performantes inspirées elles aussi de l'existant mais sur lesquelles des améliorations en accord avec nos techniques et connaissances actuelles pourraient être effectuées afin de faire concorder le niveau de confort physique avec le niveau de satisfaction sociale. Comme nous l'avons déjà précisé dans le chapitre II (Figure 2-4), le développement doit être compatible avec la durabilité, aux besoins sont associés des limites et au confort est associé la satisfaction. Les façades d'un logement sont les interfaces intérieur-extérieur qui déterminent la qualité des interactions physiques et climatiques et permettent le contrôle des ambiances intérieures (du confort) tout en étant essentielles dans le confort social car elles déterminent les interactions possibles ou non entre l'habitant à l'intérieur du logement et les passants/autres logements.

Les mesures *in-situ* effectuées nous ont permis de comprendre le rôle du rowshan et son importance dans les constructions traditionnelles en terme de confort et de régulation des ambiances. Nous pouvons supposer logiquement, enfin, que l'insertion de structures architecturales traditionnelles, telles que les rowshan et/ou moucharabieh, dans des constructions récentes pourraient permettre de réduire significativement les consommations énergétiques d'un foyer.

## Chapitre 6

---

# ÉTUDE VIRTUELLE DE LA PERFORMANCE DES FAÇADES DANS LA VIEILLE VILLE DE DJEDDAH

## **6-1 Introduction**

Dans le chapitre précédent, nous avons réalisé une évaluation qualitative sur le confort et la satisfaction dans les espaces habités actuels. Suite à notre prise de connaissance des facteurs de confort et de satisfaction dans les espaces intérieurs, nous avons commencé à évaluer de manière quantitative les modèles urbains anciens et modernes de la ville de Djeddah, afin de savoir si son architecture traditionnelle était efficace ou non, ou bien s'il s'agissait d'une coïncidence. Nous avons commencé par développer une méthodologie qui nous aiderait dans l'évaluation de l'architecture traditionnelle de Djeddah, notamment en mettant au point une méthode expérimentale pour nous guider dans cette évaluation, comparant le modèle urbain traditionnel au modèle urbain contemporain et l'impact du rayonnement solaire sur les façades des bâtiments. Nous allons ensuite étudier les espaces intérieurs des habitats et l'effet des éléments de la façade destinés à minimiser le rayonnement solaire. Qui plus est, nous évaluerons la quantité de facteur de lumière du jour dans l'espace.

## **6-2 Utilisation de méthodes de calcul pour évaluer l'impact du soleil et du climat sur les bâtiments**

En 2013, L.I. Filetóth a énuméré les méthodes de calcul du facteur de lumière du jour et des niveaux d'éclairage naturel, au cours des 100 dernières années. Il en a ressorti que les résultats de calcul, fournis par la planification de l'éclairage naturel conventionnel et les schémas de conception pour intérieurs avec luminaires, ne sont précis que de 25 à 50% (Figures 6-1, 6-2 et 6-3). Les applications de logiciel conventionnels nécessitent des données initiales détaillées sur le projet, et par conséquent ne sont pas aptes à effectuer des calculs d'éclairage naturel explicites lors des étapes de conception. Il a indiqué que les mesures de modèle menées dans le ciel artificiel intègrent toutes les propriétés physiques des systèmes d'éclairage naturel et fournissent des résultats plus précis, mais ceux-ci nécessitent un précédent technique professionnel ainsi que des connaissances, au-delà du temps et du coût. Les méthodes d'éclairage naturel génératives sont conformes à la précision des mesures des modèles physiques, à la cohérence des schémas classiques d'éclairage naturel, et à la vitesse des applications logicielles. Les résultats peuvent être retenus et publiés

comme une application informatique, remplissant toutes les exigences de la pratique de la conception architecturale. Les informations de conception explicite sont alors disponibles à tous stades de la conception, en quelques minutes sans les connaissances d'experts.

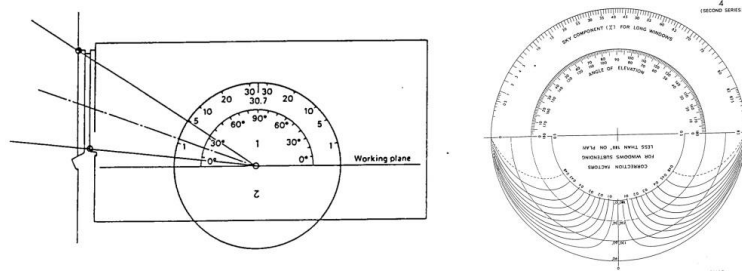


Figure 6-1 : Building Research Station (BRS), Rapporteur des composants du ciel pour une élévation manuelle verticale [<http://personal.cityu.edu.hk/>].

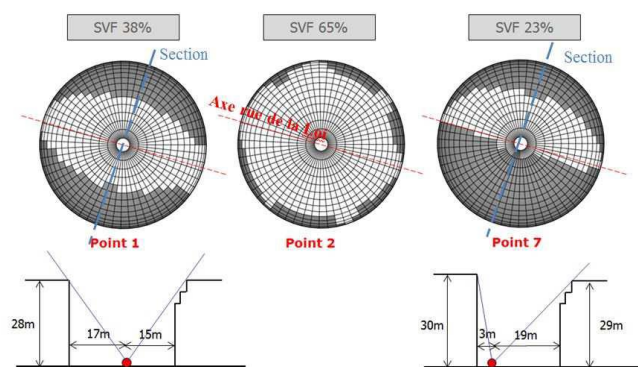


Figure 6-2 : Les sections et projections hémisphériques des facteurs de vue du ciel [Deroisy et Deneyer 2013].

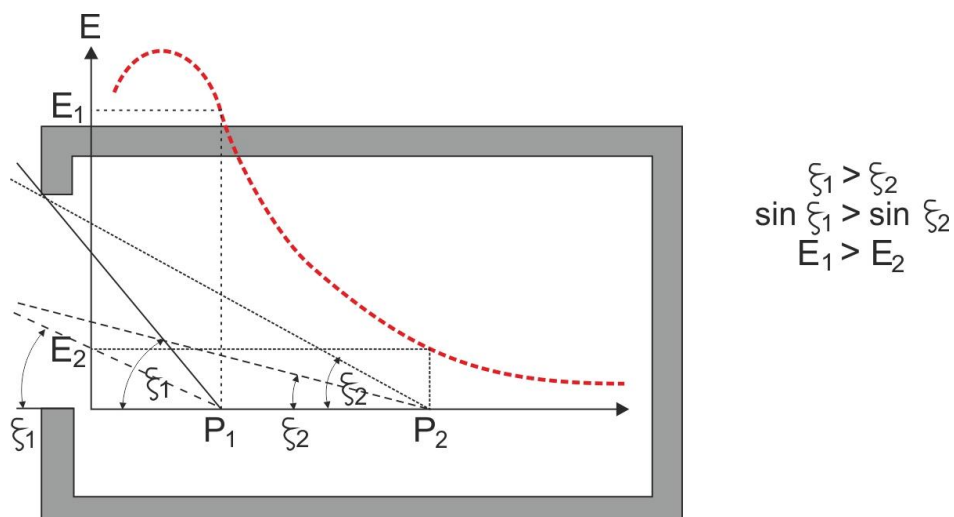


Figure 6-3 : La distribution d'éclairage causée par les systèmes de transmission de la lumière (lumière réfléchiée et traversée), des lucarnes et de la lumière du jour combinés ; par l'auteur, d'après [FILETOTH, 2013].

En 2004, Andrew Marsh a étudié le Rayonnement solaire incident sur les façades de hautes tours d'habitation en utilisant la modélisation 3D et les logiciels d'études virtuelles (ou applications). Sa recherche se concentre principalement sur le potentiel de la rétroaction de prise de décision au cours des processus de conception, planification et construction. Il a présenté un procédé d'utilisation des masques d'ombrage et enregistré des données de rayonnement solaire horaire afin d'analyser et de visualiser les variations de rayonnement solaire incident sur les surfaces d'un bâtiment. Il a ainsi montré combien cette méthode possède un éventail d'autres applications, s'étendant de la planification du paysage à l'évaluation détaillée des solutions spécifiques d'ombrage, et peut être utilisée dans le processus de conception d'un bâtiment afin d'optimiser l'utilisation de l'ombrage et des vitrages de contrôle solaire (Figure 6-4).

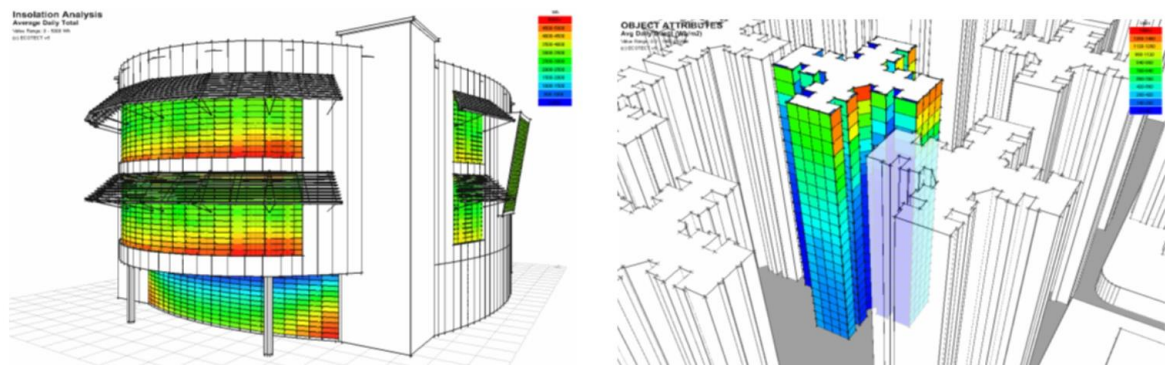


Figure 6-4 : Gauche: Un exemple de l'analyse in situ de l'efficacité de l'appareil d'ombrage sur les fenêtres incurvées. Droite : Évaluation solaire sur immeuble de grande hauteur; sources : [Marsh 2004].

Redweik, Catita et Brito [REDWEIK 2011] décrivent comment évaluer le rayonnement solaire incident sur le modèle urbain à l'aide de l'application de modèle de rayonnement solaire 3D à échelle locale basée sur des données urbaines. Le but de leur étude est d'obtenir l'énergie solaire directe, diffuse et réfléchie qui atteint un point de paysage urbain générique, indépendamment de son emplacement sur un toit, sur le sol ou sur une façade. L'analyse, qui couvre une zone urbaine de 400x400m, et ré-échantillonnée dans un maillage de 1x1m, applique un nouvel algorithme d'ombre sur les toits, terrains et façades pour chaque trame de temps. Elle applique également le modèle de rayonnement solaire sur le calcul d'irradiation directe, diffuse et réfléchie pour chaque cellule de trame de 1x1m sur des surfaces non-verticales du toit et du terrain. Elle calcule enfin l'irradiation totale de chaque

grande colonne de 1 mètre de façade verticale, sur la base de la zone éclairée, à chaque trame temporelle moyenne. Les résultats, pour chaque période, sont intégrés pour la période de temps voulue, variant d'une heure à un an, laissant les étapes de temps également sélectionnables, ce qui permet plusieurs types de rayonnement solaire et l'observation des études. Ils ont utilisé l'application SIG (GIS) pour évaluer les moyennes mensuelles du rayonnement solaire sur un emplacement particulier, ainsi que pour cartographier le potentiel photovoltaïque des façades et des toits selon les catégories déterminées de potentiel (Figure 6-5 ).

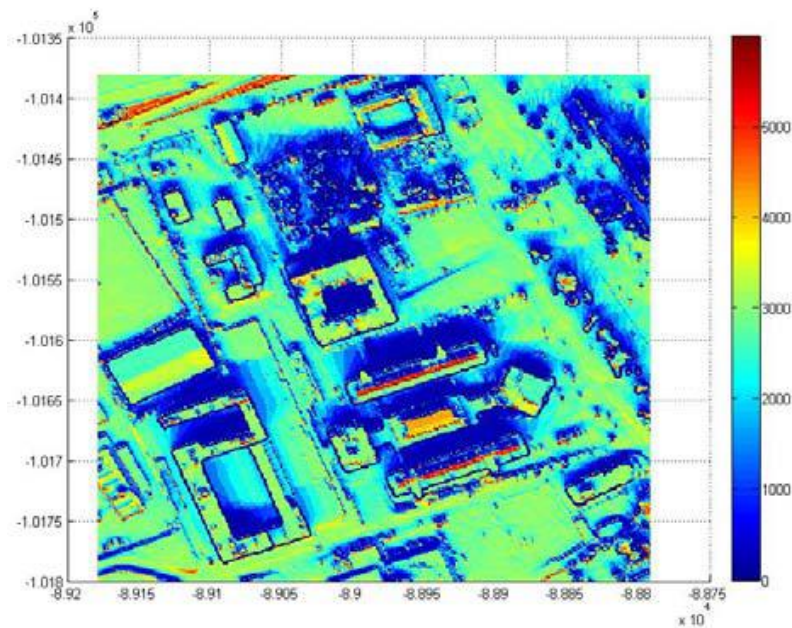


Figure 6-5 : Carte du rayonnement sans façade au 31 Janvier, sur la base de données LIDAR [Wh/m<sup>2</sup>]; source [Redweik, 2011].

En 2013, une étude de Deroisy et Deneyer [DEROISY AND DENEYER 2013] met l'accent sur les aspects de l'éclairage naturel dans un contexte urbain. Une méthodologie y est proposée pour estimer la lumière du jour pour un aménagement urbain, la planification et les objectifs de politique. L'objectif est d'offrir des critères simples, et pourtant efficaces, pour l'aménagement du territoire, sachant que la forme exacte des bâtiments et des propriétés des façades ne sont pas connues à ce stade. La méthode est ensuite appliquée à un développement de haute densité à Bruxelles où les différents arrangements de volumétrie sont étudiés. L'impact est analysé pour chaque alternative et les améliorations d'une proposition finale modifiée pour les masses urbaines sont vérifiées (Figure 6-6).

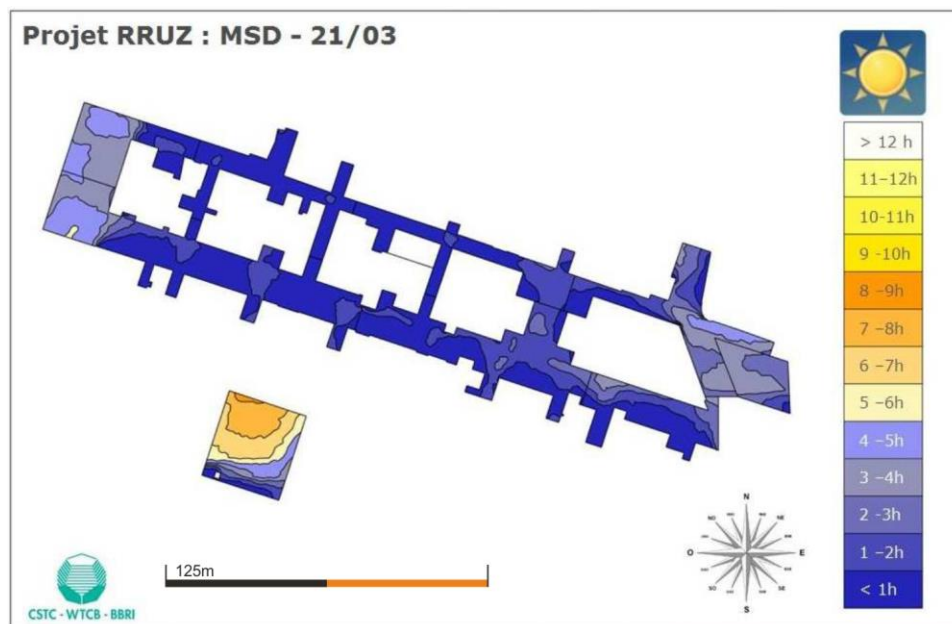


Figure 6-6 : Carte de la durée d'ensoleillement maximale pour la situation existante à Bruxelles ; par [Deroisy et Deneyer, 2013].

Le rayonnement solaire, responsable de la luminosité, est aussi un facteur prédominant dans la thermique du bâtiment. En 2013, Ahmed Muhaisen et Huda Abed [MUHAISEN ET ABED, 2013] ont travaillé sur l'enquête de la performance thermique de la forme d'un bâtiment dans le climat méditerranéen de la bande de Gaza. Ils ont examiné la performance thermique des différentes formes de logements situés dans le climat méditerranéen de la bande de Gaza. L'étude est réalisée en utilisant les programmes informatiques ECOTECH et IES. Les résultats indiquent des effets thermiques importants dus aux proportions de forme. L'étude a conclu que le rapport surface/volume est considéré comme le principal responsable de la réponse thermique de différentes formes géométriques. La consommation d'énergie augmente au même taux que le rapport surface-volume ( $S/V$ ) dans le climat méditerranéen de la bande de Gaza. Les formes convexes telles que les cours, en L et en U peuvent être utilisées comme des options préférables pour les arrangements de construction plutôt qu'une forme rectangulaire de même rapport ( $S/V$ ). L'augmentation du rapport de profondeur dans des formes convexes a la capacité d'augmenter le pourcentage des façades ombrées qui contribuent à réduire l'énergie de chauffage et de refroidissement.

Comme l'ont démontré Virginie Meunier, Marjorie Musy et Philippe Wolosyn, les brise-soleils et autres stores occultant permettent de repenser stratégiquement l'apport de lumière naturelle dans l'espace intérieur de bureaux [MEUNIER, MUSY ET WOLOSYN 2003].



Ajoutons à cela, le fait de pouvoir concevoir des moucharbiehs pleinement adaptés aux logements contemporains et prenant en considération tous les besoins d'éclairage que nécessitent les habitats, le moucharbieh a déjà été pensé et testé [BATTERJEE, 2009].

Tout récemment, en 2014, un article présenté au PLEA utilise les méthodes de simulation informatique pour tester un système de moucharbieh mobile dans son efficacité à limiter les apports solaires directs d'une part et à laisser passer suffisamment de lumière indirecte d'autre part pour limiter les besoins en éclairage artificiel et en consommation énergétique [KARAMATA, GIOVANNINI, VERSO ET ANDERSEN, 2014].

## 6-3 Logiciels de simulation dans notre recherche

Il y existe plusieurs logiciels adaptés à des simulations solaires (rayonnement et éclairage) comme Design Builder ou Solène<sup>38</sup>. Après avoir étudié les différentes possibilités de simulations d'éclairage naturel et de rayonnement solaire, nous avons décidé d'utiliser une suite logicielle adaptée et reconnue pour cet usage pour nos cas d'étude : AUTODESK BIM.

### 6-3-1 AUTODESK BIM (Building Information Modeling)

Le BIM est un processus qui implique la création et l'utilisation d'un modèle 3D intelligent afin d'informer et de communiquer les décisions d'un projet. La conception, la visualisation, la simulation et la collaboration permises par les solutions BIM d'Autodesk offrent une clarté plus grande à chaque phase du projet, et permet d'atteindre plus facilement ses objectifs.<sup>39</sup>

#### 6-3-1-1 Bases de données digitales

Les solutions « *Building Information Modeling* » créent et exploitent des bases de données numériques en collaboration avec l'industrie du bâtiment qui représente traditionnellement des projets de construction au travers de dessins et d'informations supplémentaires, au-delà de ces illustrations, au moyen de notes et d'un cahier des charges. La technologie CAD a

---

<sup>38</sup> Solène est un logiciel développé par le laboratoire CERMA pour l'étude du rayonnement solaire et éclairage naturel dans les espaces urbains. [www.cerma.archi.fr](http://www.cerma.archi.fr)

<sup>39</sup> [www.autodesk.com/buildinginformation](http://www.autodesk.com/buildinginformation)

automatisé ce processus, et la CAD orientée objet a étendu l'idée d'ajouter des informations à des illustrations et des graphiques en un logiciel. Le résultat entre les premiers systèmes CAD de graphiques et illustrations manuels et les systèmes CAD orientés objet étaient identiques : la création d'abstractions graphiques de la conception du bâtiment destiné.

Les principes de « *Building Information Modeling* » sont d'améliorer cette relation. Les applications BIM commencent avec l'idée de capturer et de gérer l'information sur le bâtiment, puis présentent ensuite cette information comme sur les illustrations classiques ou de toute autre manière appropriée. Un modèle de données du bâtiment capture les données du bâtiment au moment de sa création, les stocke et les gère dans une base de données de construction, et les rend disponibles pour l'utilisation et la réutilisation de tout autre point dans le projet. Les dessins deviennent une vue dans la base de données qui décrit le bâtiment lui-même (Figure 6-7).



Figure 6-7 : Composants et procédure de Autodesk BIM; source [bexelconsulting.com].

### 6-3-1-2 AUTODESK REVIT

Revit est le logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) utilisé pour la modélisation 2D et 3D des espaces allant du tissu urbain à l'espace intérieur détaillé, à partir de mètres précis ou d'espaces totalement inventés. A partir de cette maquette virtuelle, il est possible d'en tirer des plans, des coupes, voire des détails à l'échelle, tout comme des vues 3D.

Le modèle ainsi obtenu peut être exporté vers d'autres logiciels compatibles BIM comme Autodesk Ecotect ou Vasari.

### **6-3-1-3 AUTODESK Ecotect**

Autodesk Ecotect est capable de lire et d'importer plusieurs formats de dessins 3D informatisés, comme par exemple des .dxf, .dwg .xml, très utilisés dans le monde de l'architecture et l'ingénierie. A partir de ces modèles et après les avoir correctement paramétrés, ce logiciel de simulation est capable de calculer et d'analyser plusieurs facteurs environnementaux dans le bâtiment :

#### **I- Calcul d'ombrage**

Ecotect nous permet de voir comment un futur bâtiment va projeter des ombres sur les environs, ou comment les bâtiments actuels projettent des ombres les uns sur les autres, un certain jour à une certaine heure ou toute l'année. Cette option permet de trouver la bonne forme du bâtiment et empêcher un ombrage prédominant.

#### **II- Rayonnement solaire**

Ecotect nous permet d'analyser le rayonnement solaire de manière très détaillée. Il est très important de considérer le rayonnement solaire pour tous projets, puisque c'est la plus grande source de gain de chaleur dans les bâtiments. Et bien sûr, il est très important, par exemple, pour la construction de panneaux solaires. Avec Ecotect, nous pouvons calculer l'exposition solaire et réaliser des graphiques de masque d'ombrage, vérifier la disponibilité solaire, calculer le rayonnement solaire disponible pour les tableaux photovoltaïque, etc...

#### **III- Analyse de la lumière du jour**

Ecotect peut être utilisé pour visualiser la performance de l'éclairage naturel des locaux et des espaces d'un bâtiment. Nous pouvons calculer les facteurs de lumière du jour pour n'importe quel espace, voir combien les fenêtres laissent entrer la lumière du jour et quelle pièce est plus exposée à la lumière du soleil, à des jours et heures spécifiques. Pour ce faire, nous utilisons l'Analyse Éclairage dans l'onglet calculer.

### **6-3-1-4 AUTODESK Vasari**

Autodesk Vasari est un outil de conception expressif et facile à utiliser pour la création de concepts de construction. Vasari va plus loin, avec une analyse intégrée de l'énergie et du

carbone, donnant un aperçu de la conception où les décisions les plus importantes sont faites. Et, quand il est temps de passer de la conception à la production, il suffit d'apporter simplement ces données de conception Vasari dans la plate-forme Autodesk Revit pour BIM, qui assure une exécution claire de l'intention de conception. Vasari est axé sur la conception des bâtiments conceptuels utilisant à la fois la modélisation géométrique et paramétrique. Il prend en charge la conception basée sur la performance par modélisation et l'analyse de l'énergie des fonctions intégrées<sup>40</sup>.

Ces trois logiciels (Revit, Ecotect et Vasari) de la suite Autodesk BIM ont été utilisés afin d'évaluer les cas d'étude de cette thèse tant par rapport à l'éclairage naturel, c'est-à-dire le facteur lumière du jour et l'éclairement d'un plan de travail, qu'au rayonnement solaire incident et transmis. Nous allons voir de quelle manière ces modèles ont été conçus, simulés et analysés.

Il est beaucoup plus aisé d'utiliser des logiciels simulation plutôt que construire des maquettes à l'échelle ou effectuer les calculs à la main pour calculer le FLJ et l'éclairement [BATTERJEE 2009]. Les simulations reproduisent un comportement physique relativement proche de la réalité [LI AND TSANG 2005].

## 6-4 Méthodologie d'évaluation

L'évaluation des différents paramètres climatiques et de confort dont le taux de rayonnement solaire qui est la principale cause de surchauffe et d'inconfort ainsi que l'éclairage naturel qui est un paramètre difficile à gérer car il faut se protéger du soleil va s'effectuer en quatre phases majeures.

### 6-4-1 Le pré-modèle

Par rapport aux études existantes déjà effectuées par des chercheurs, il apparaît essentiel d'avoir toutes les données du site étudié avant de commencer à se lancer dans la simulation, comme la topographie, les hauteurs de bâti, les données climatiques, les données administratives, etc.

---

<sup>40</sup> <http://autodeskvasari.com/>

L'université KAU Djeddah ainsi que le préfet ont pu fournir des informations et des fichiers (plans, CAD du tissu urbain de la ville), pour les données climatiques, elles sont trouvable de plusieurs manières : soit par ASHRAE, soit par le ministère de la météorologie en Arabie Saoudite qui peut donner gratuitement les informations mais cela prend du temps. Pour aller plus vite les données climatiques de Djeddah pour 2013 ont été achetées sur (weatherspark.com) qui est une bibliothèque de données climatiques du monde entier sur plusieurs années.

### **6-4-2 Le modèle**

Après cette phase de pré-modèle, on est ensuite passé à la modélisation des espaces de simulation. Les modèles tridimensionnels ont été réalisés avec Autodesk Revit car c'est un logiciel complet quant à la définition des matériaux et qui bénéficie d'une très bonne compatibilité avec tous les logiciels Autodesk BIM (Vasari, Ecotect...). Dans cette phase, plusieurs scénarios ont été modélisés :

Quatre tissus urbains existants ont été choisis par rapport à leur typologie représentative de la ville qui va permettre de comparer deux tissus urbains majeurs, la vieille ville et la ville contemporaine.

Un espace intérieur virtuel avec cinq scénarios d'ouverture qui va permettre d'étudier l'efficacité des éléments de façade majeurs de l'architecture traditionnelle et contemporaine de Djeddah.

### **6-4-3 Simuler et visualiser**

Le taux de rayonnement solaire arrivant sur les façades des différents tissus urbains a été calculé pour chaque saison puis annuellement pour comprendre l'impact de la forme urbaine sur ce facteur climatique. L'éclairement naturel et le facteur lumière du jour (F.L.J) pour les espaces virtuels intérieurs ont été calculés de la même manière mais sans être intégrés dans le tissu urbain afin de pouvoir comparer ces résultats neutres plus facilement et de comprendre l'impact du tissu urbain sur le confort intérieur par de simples calculs. Ces simulations ont été effectuées à l'aide des modèles Revit importés vers (AUTODESK Vasari et Ecotect).

#### 6-4-4 Analyses des données

Le rayonnement solaire étant un facteur majeur de surchauffe de l'espace intérieur, l'impact de la configuration spatiale du tissu urbain sur le taux de rayonnement reçu par les façades paraît alors essentiel à analyser et comprendre.

La lumière directe du soleil étant aussi le facteur d'éclairage majeur, il apparaît alors indispensable de mettre en relation l'effet des différents dispositifs d'ouverture sur l'éclairage naturel et sur l'énergie solaire transmise à travers ces mêmes dispositifs. Ces données seront ensuite comparées avec les données du rayonnement solaire reçu par les façades en fonction du tissu urbain considéré pour comprendre de façon globale la problématique de confort et de contrôle climatique à Djeddah. Enfin ces données seront mises en relation avec les résultats du sondage de satisfaction (Figure 6-8).

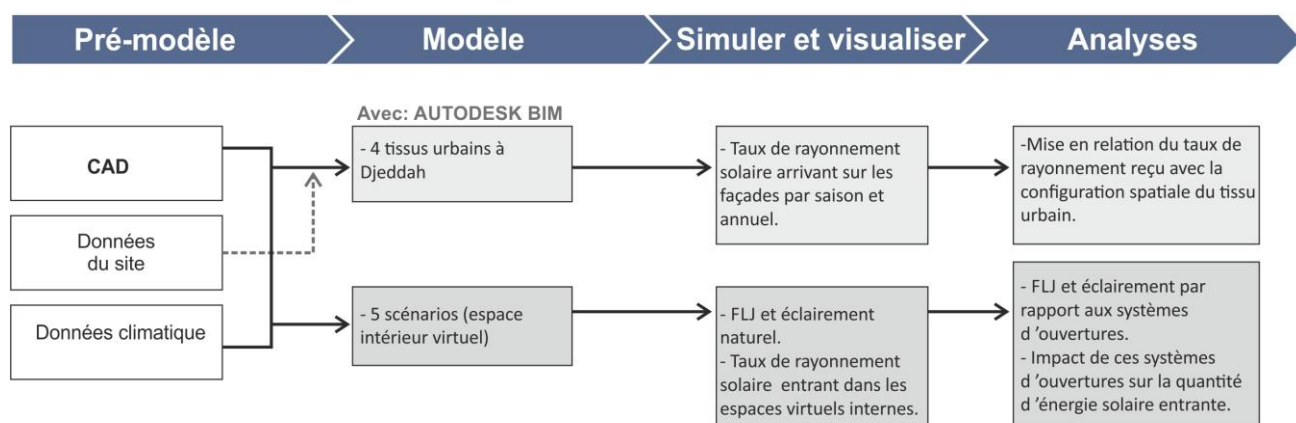


Figure6-8 : les différentes phases de la démarche d'évaluation, par l'auteur.

#### 6-5 Simulations solaires sur le tissu urbain

Pour comprendre quel est l'impact des formes urbaines sur la quantité d'énergie solaire reçue à la fois au sol et sur les façades des bâtiments, il a été nécessaire de procéder à des simulations de radiations solaires avec les logiciels Autodesk Vasari (Figure 6-9), Autodesk BIM et Autodesk Ecotect qui permettent de gérer des simulations dynamiques à partir de modèles 3D des zones étudiées. Ces outils et notamment « Ecotect » est un des plus utilisés et étudiés pour la conception d'architectures bioclimatiques. La modélisation 3D des quartiers a été réalisée sur le logiciel Autodesk Revit.

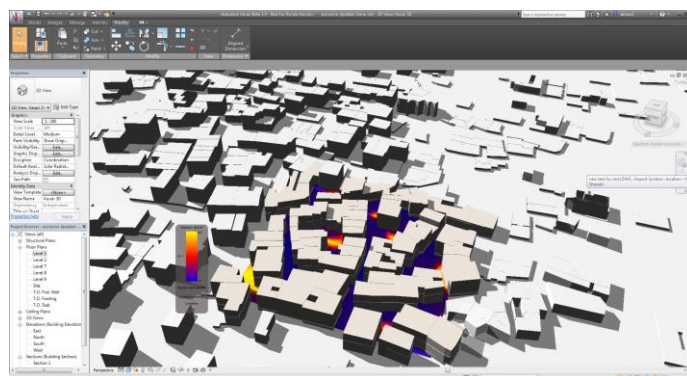


Figure 6-9 : interface d'Autodesk Vasari; par l'auteur.

Ces zones ont été choisies de manière à être le plus représentatif possible des différentes configurations présentes dans la ville. La partie ancienne se situe dans le Sud de Djeddah tandis que la partie contemporaine, elle, se situe dans le Nord de la ville où l'urbanisation s'effectue entre des autoroutes urbaines sur une trame régulière [ROBERT MATHEW 1981]. Les deux types de tissus urbains sont très différents entre eux, tant au niveau de la hauteur des bâtiments que de leur configuration spatiale (orientation, forme, façades, etc), (Tableau 6-1).

	Tissu urbain - ancienne ville de Djeddah - densité moyenne	Tissu urbain - ancienne ville de Djeddah - densité élevée	Tissu urbain - nouvelle zone - appartements	Tissu urbain - nouvelle zone - villas (attachées et détachées)
Surface de la zone (m <sup>2</sup> )	10000	10000	10000	10000
Surface bâtie (m <sup>2</sup> )	5846,00	5534,00	5861,00	4973,00
Surface bâtie (%)	58%	55%	59%	50%
Surface de la zone commune ( rues et trottoirs) (m <sup>2</sup> )	4154,00	4466,00	4139,00	5027,00
Surface de la zone commune ( rues et trottoirs) (%)	42%	45%	41%	50%
Surface des façades (m <sup>2</sup> )	11324	12546	13572	8160
Nombre d'étages	R+3	R+2, R+3	R+4	R+2

Tableau 6-1 : Comparaison des différentes zones étudiées ; par l'auteur.

Deux tissus urbains ont été étudiés : la vieille ville et la ville nouvelle, deux zones pour chaque typologie ont été choisies (Tableau 6-15). Chaque zone a ses spécificités comme la hauteur des bâtiments, le ratio de surface bâtie par rapport à la surface totale, la surface totale des façades, etc. Tous ces éléments vont permettre de comprendre quels facteurs entrent en jeu par rapport à l'irradiation du sol et des façades. Les zones d'étude sont toutes des carrés de 100 m sur 100 m ( $10\,000\text{ m}^2$ ), ce qui facilitera la comparaison des formes, des tailles, de la densité et du nombre de bâtiments dans chaque zone étudiée (Figure 6-10). Nous pourrons ensuite mettre en relation les résultats obtenus avec les précédentes études qualitatives et subjectives.

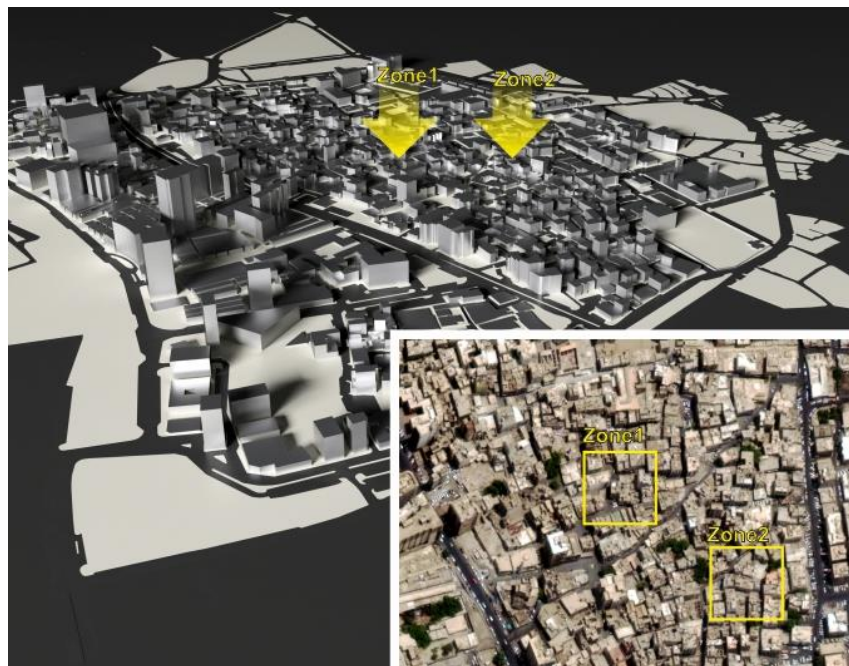


Figure 6-10 : Les deux zones de la vieille ville de Djeddah; par l'auteur.

### 6-5-1 Énergie solaire reçue dans la vieille ville

Comme évoqué précédemment, deux zones ont été choisies dans la vieille ville, elles ont ensuite été simulées sur Vasari afin de calculer le taux d'énergie solaire reçue en moyenne sur le sol et sur les façades en  $\text{kWh/m}^2$ .

La zone 1 apparaît comme la zone la plus dense en surface bâtie des deux, pourtant, dans la (Figure 6-11) on peut observer 49 bâtiments, tandis que dans la zone 2, on observe 64 bâtiments sur un carré de 100 m sur 100 m (ANNEXE 4).



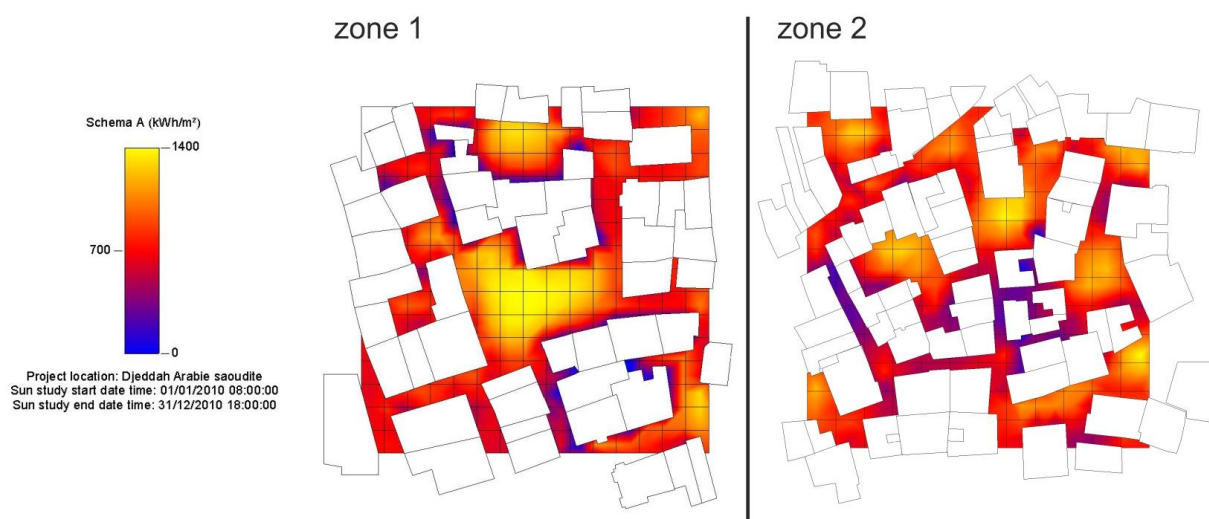


Figure 6-11 : Etude solaire sur Vasari, zone 1 de la vieille ville (à gauche) et zone 2 (à droite); par l'auteur.

Les résultats obtenus ont été enregistrés et analysés sur Excel afin de pouvoir facilement comparer les irradiances selon l'orientation (Figures 6-12 et 6-13). Nous pouvons observer sans surprise que la façade Nord est celle qui reçoit le moins d'énergie au cours de l'année, tandis que la façade Ouest est la plus exposée.

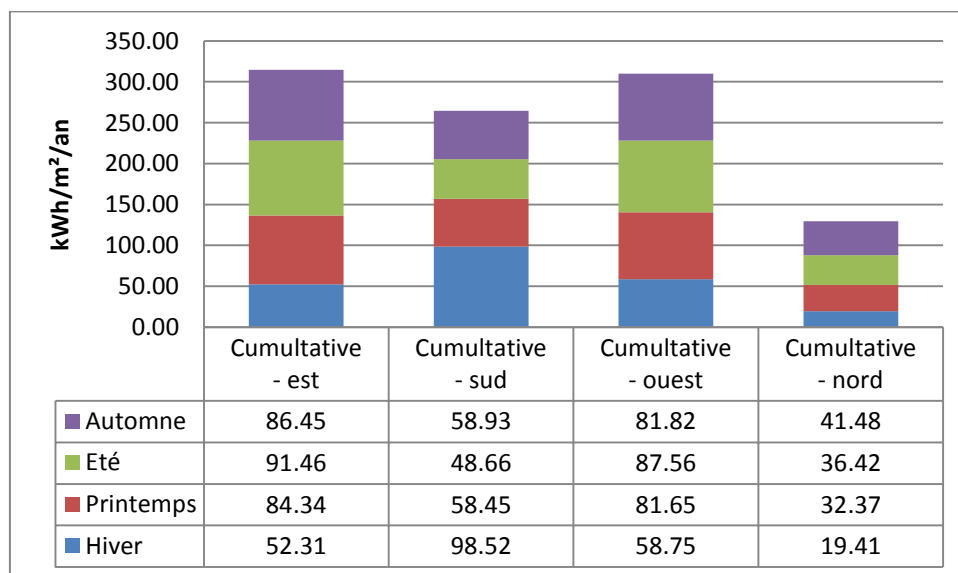


Figure 6-12 : Energie reçue en kWh/m2 en fonction de l'orientation de la façade et de la saison pour la zone 1 de la vieille ville ; par l'auteur.

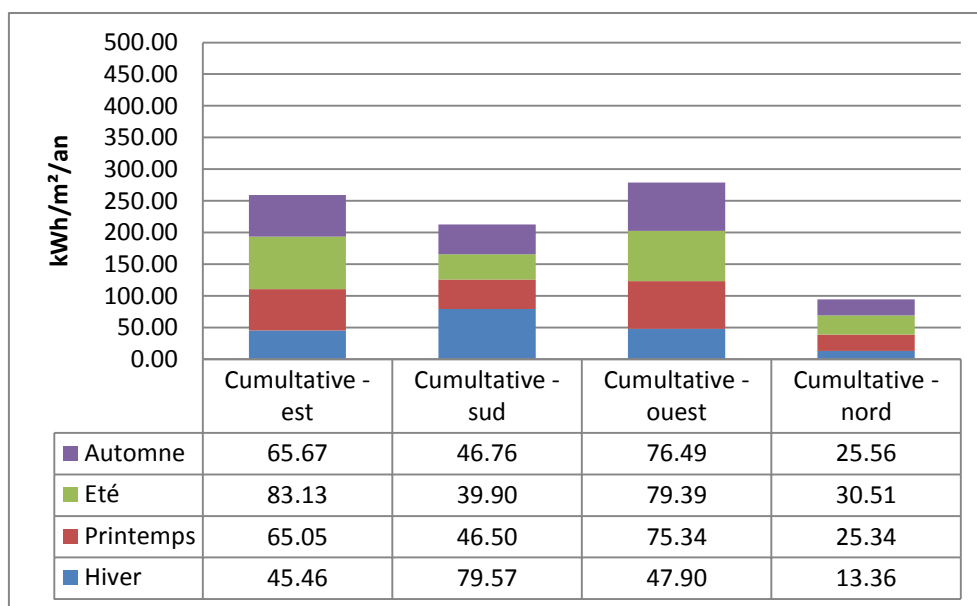


Figure 6-13 : Energie reçue en kWh/m<sup>2</sup> en fonction de l'orientation de la façade et de la saison pour la zone 2 de la vieille ville ; par l'auteur.

Pour la deuxième zone de la vieille ville, on peut observer que les façades reçoivent beaucoup moins d'énergie solaire que la zone 1 (Figure 6-13), pourtant les bâtiments sont d'environ la même hauteur voire moins hauts, la surface bâtie est 5% inférieure à celle de la zone 1.

La zone 2 est en fait beaucoup moins structurée au niveau des voies de circulation que la zone 1. En effet on y observe des rues moins droites, avec des redents et généralement assez serrées ainsi qu'une succession de petite placettes / cours, alors qu'en zone 1 on observe plutôt des places plus grandes et donc permettant au soleil d'irradier plus longtemps la surface des façades, ce qui engendre un plus fort taux d'énergie solaire reçue sur les façades que pour la zone 2.

Dans la ville de Djeddah on observe dans la vieille ville une tendance à orienter les rues et les façades d'une certaine façon, c'est à dire généralement Nord-Ouest et Ouest-Sud-Ouest (Figure 6-14), probablement car les vents dominants à Djeddah viennent du Nord-Ouest, et ils sont chargés d'humidité car venant de la mer. Les façades Ouest sont généralement ouvertes à 40-50% avec des moucharabiehs, notamment en bois ce qui permet d'absorber une petite partie de l'humidité.

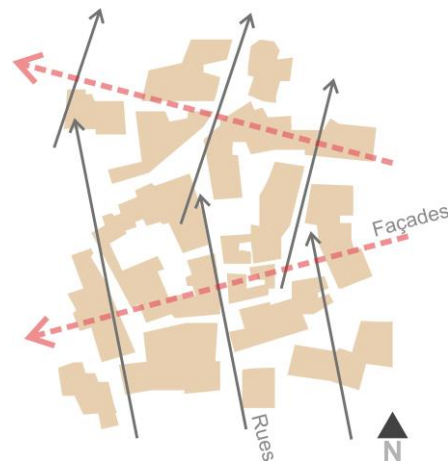


Figure 6-14 : Les orientations dominantes des rues des façades dans le tissu urbain de la vieille ville; par l'auteur.

### 6-5-2 Énergie solaire reçue dans la ville nouvelle

Nous allons maintenant voir les deux zones de la ville nouvelle, l'une constituée d'appartements avec une moyenne de hauteur de bâtiments à R+4 et la deuxième composée de villas détachées et de maisons mitoyennes. Cette zone a été choisie particulièrement car elle est représentative de la majorité des habitations de ce type dans la ville, construites par des promoteurs sur des bases de plans identiques (Figure 6-15).

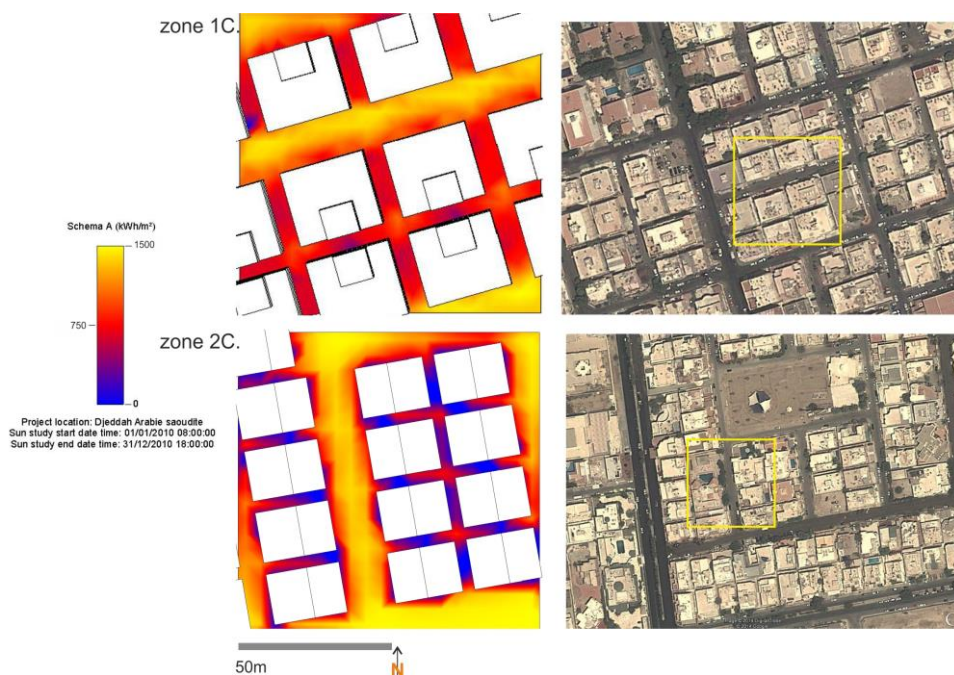


Figure 6-15 : En haut La zone (1) d'appartements de la ville nouvelle. En bas : la zone (2) de villas attachées et détachées de la ville nouvelle.

La première zone est la plus dense de toutes les zones étudiées avec 59% de surface bâtie pour seulement une dizaine de constructions seulement sur un carré de 100 m sur 100 m.

On peut voir que les voies de circulation sont beaucoup plus larges que dans la vieille ville et sont rectilignes, ce qui laisse supposer que les façades vont recevoir beaucoup plus d'énergie que dans la vieille ville. Cependant, comme le montre le tableau 6-1, on peut aussi remarquer que c'est la zone avec les constructions les plus hautes (jusqu'à R+4) et donc des ombres portées plus grandes pour chaque bâtiment.

L'énergie totale reçue tout au long de l'année est largement supérieure par rapport les deux zones de l'ancienne ville, pratiquement 400 kWh/m<sup>2</sup> pour la façade Ouest (Figure 6-16), tandis que pour la zone 2 de la vieille ville, l'irradiation maximum n'atteint pas les 300 kWh/m<sup>2</sup>/an.

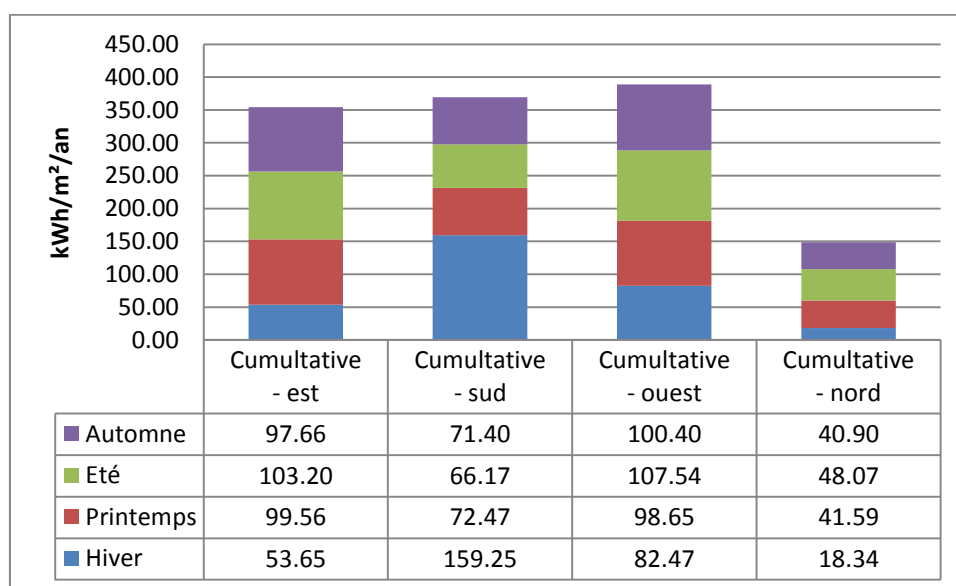


Figure 6-16 : Energie reçue en kWh/m<sup>2</sup> en fonction de l'orientation de la façade et de la saison pour la zone 1 de la ville contemporaine ; par l'auteur.

La deuxième zone est assez semblable à la première, cependant les bâtiments sont légèrement plus petits : 12 constructions sur la zone et 50% de surface bâtie, la plus petite des 4 zones étudiées. Les rues sont orientées Nord-Sud et Est-Ouest avec un quadrillage régulier. Cela résulte de la création des autoroutes urbaines à Djeddah entre lesquelles vient se construire un tissu urbain rectiligne dans lequel on trouve de grandes artères traversantes (Figure 6-17).

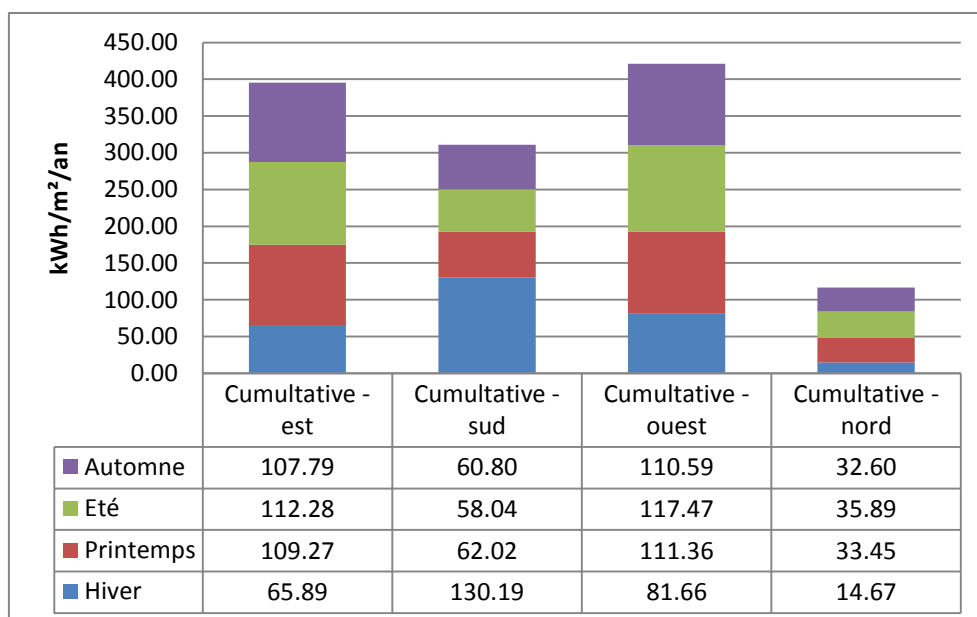


Figure 6-17 : Energie reçue en kWh/m<sup>2</sup> en fonction de l'orientation de la façade et de la saison pour la zone 2 de la ville contemporaine ; par l'auteur.

### 6-5-3 Interprétation des simulations

Avec la Figure 6-17 on peut voir que l'irradiation moyenne est légèrement plus élevée à l'Ouest que pour la première zone de la ville nouvelle mais qu'au Nord elle est beaucoup plus basse et la façade Sud est aussi moins irradiée. Cela provient de la disposition des bâtiments entre eux et de l'étroitesse relative des rues qui masquent facilement la lumière directe du soleil.

A l'Est et à l'Ouest, la grande artère permet aux rayons solaires de passer aisément, il en résulte alors une forte irradiation de ces façades, la plus forte des quatre zones étudiées. On peut donc voir que les façades donnant sur de larges rues sont particulièrement exposées dans ce type de tissu urbain (Figure 6-18). Nous notons également la différence intéressante entre la quantité de rayonnement solaire direct sur les rues et les espaces ouverts dans les tissu urbain anciens et contemporains, ce qui confirme que le système urbain ancien est plus efficace en termes de réduction du rayonnement solaire (Figure 6-19).

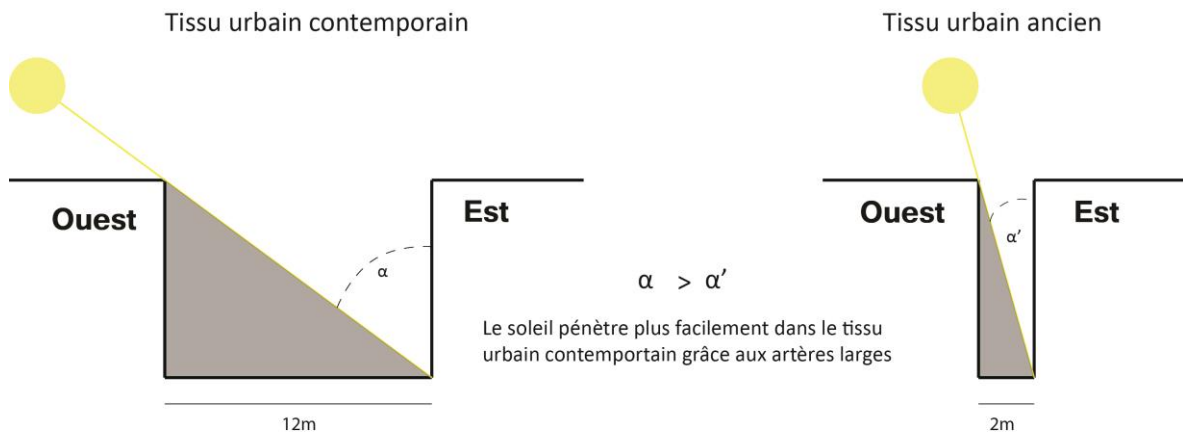


Figure 6-18 : Influence de la largeur des rues sur l'insolation des façades ; par l'auteur.

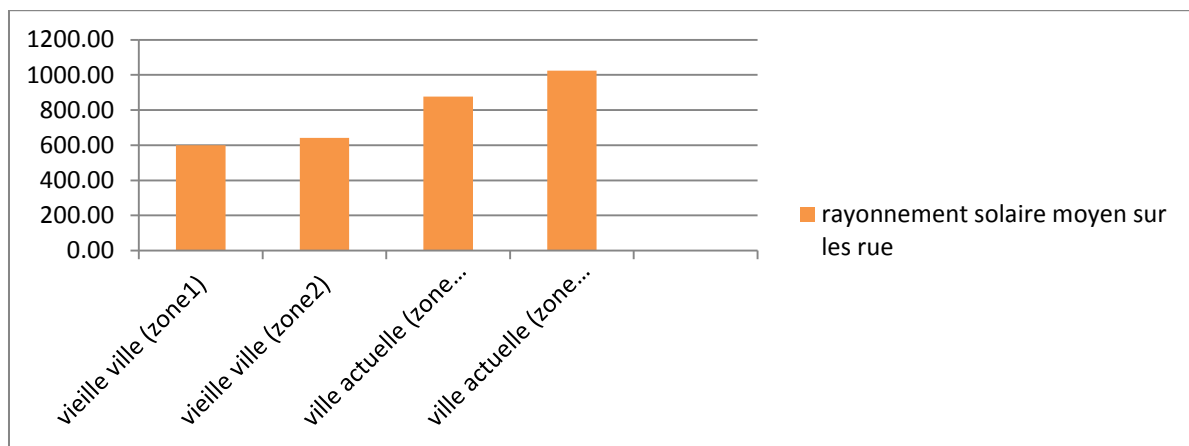
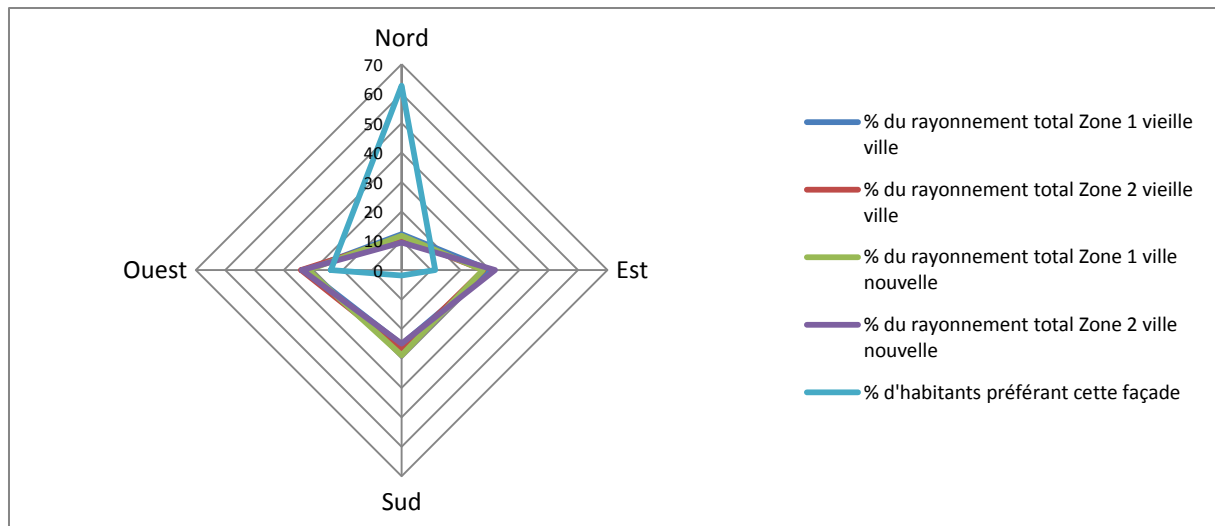


Figure 6-19 : Rayonnement solaire moyen reçu sur le sol des rues en kWh/m²/an; par l'auteur.

Nous pouvons voir sur la Figure 6-19 que le rayonnement solaire moyen reçu dans les rues correspond aux affirmations précédentes quant à la facilité du soleil à pénétrer dans les grandes artères de la ville contemporaine de Djeddah. Le tissu urbain ancien et surtout la zone 2 comporte beaucoup d'éléments non présents dans la ville nouvelle, comme des petites places, des rues plus étroites et plus sinueuses qui sont autant d'éléments utiles contre le rayonnement solaire direct voir social pour les placettes qui sont des lieux de rencontre potentiels.



**Figure 6-20 : Relation entre rayonnement solaire sur des façades de la zone 1 de la vieille ville et la zone 2 de la ville nouvelle ainsi que la proportion des habitants préférant cette façade selon l'orientation ; par l'auteur.**

En prenant le total des radiations solaire reçues par les façades selon la zone on peut ensuite connaître le pourcentage d'ensoleillement total (excepté par rapport au sol) que chaque façade reçoit de la manière suivante :

$$\tau = \frac{E_i}{\sum E} (\times 100)$$

Où  $\tau$  est la fraction (en %) de rayonnement solaire reçu par la façade,  $E_i$  est le rayonnement reçu pour la façade considérée (en kWh/an) et  $\sum E$  est la somme des rayonnements reçus par chaque façade (en kWh/an).

Sur la Figure 6-20 on remarque une certaine corrélation entre le taux d'irradiation pour la façade Nord et la nette préférence des habitants, tout type de logement confondu, pour cette même orientation (plus de 62%). Ce choix découle du fait que la plupart des bâtiments ne sont pas adaptés aux fortes chaleurs provoquées par le soleil, comme on a pu le voir dans le chapitre 5 la résistance thermique des façades de plus des deux tiers des habitats ne dépasse même pas les  $R = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{W/K}$  et la plupart des protections visuelles sont pensées pour l'intimité des occupants et non pour protéger du soleil. De plus, il est beaucoup plus facile et moins onéreux de protéger une ouverture au Nord que dans toutes les autres orientations.

La deuxième orientation préférée en revanche est l'Ouest qui est la plus fortement irradiée. L'explication peut simplement provenir du fait que les vents dominants sont généralement orientés Ouest et qu'une majorité des habitations ont une orientation Ouest (voir Figure 6-21) notamment dans la vieille ville de Djeddah. Les moucharabiehs, généralement en bois permettent de laisser passer l'air pour ventiler naturellement et le bois absorbe une partie de l'humidité contenue dans l'air extérieur, ce qui a pour effet d'avoir un air plus agréable car moins humide. De plus, un matériau de construction très utilisé à Djeddah est une pierre corallienne très poreuse qui capte l'humidité et a la possibilité de rafraîchir l'air intérieur par phénomène d'évaporation de l'eau contenue dans la pierre [ECOLE D'AVIGNON, 2006].

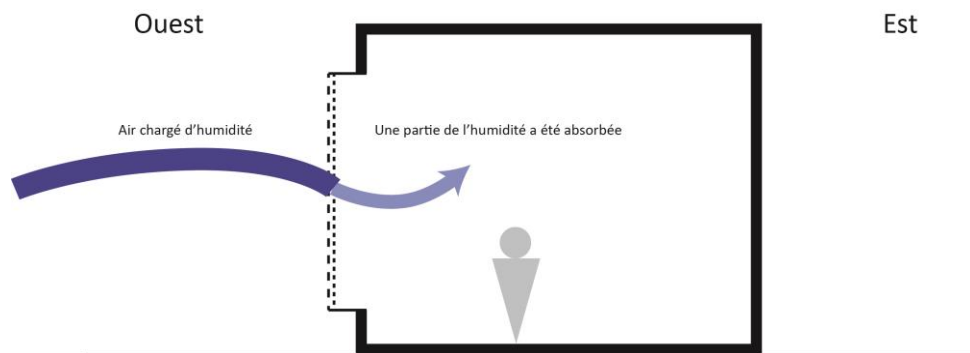


Figure 6-21 : Absorption de l'humidité par les moucharabiehs en bois; par l'auteur.

#### 6-5-4 Synthèse de l'évaluation

La configuration spatiale d'un bâtiment est un facteur clé quant à ses performances (bio)climatiques, mais ce n'est pas le seul facteur qui entre en jeu. En effet la configuration spatiale de l'espace urbain est déterminante quant à la quantité d'énergie solaire reçue par chaque façade. La hauteur des bâtiments, la largeur des voies de circulation, l'orientation de ces mêmes voies et par conséquent des façades des habitations sont autant de paramètres à prendre en compte afin d'évaluer les performances énergétiques et le niveau de satisfaction quant au confort physique et socio-culturel des occupants.

Dans cette étude de cas, nous avons pu voir que les façades des bâtiments situés dans la vieille ville de Djeddah reçoivent moins de rayonnement solaire que ceux situés dans la ville nouvelle grâce à une configuration urbaine différente : des rues moins larges, moins rectilignes et des bâtiments aux formes diverses.



Dans tous les cas étudiés, c'est logiquement la façade Nord qui reçoit le moins d'énergie solaire, et c'est aussi la façade préférée plus de 62% des habitants sondés, ce qui signifie bien que le rayonnement solaire a non seulement un impact physique réel, mais aussi un impact sur la satisfaction et le confort des usagers. Ce n'est cependant pas le seul facteur de confort et de satisfaction à prendre en compte comme le montre le fait que la deuxième orientation préférée des habitants est l'Ouest alors que quel que soit la zone considérée c'est aussi l'orientation de façade la plus irradiée. Nous pouvons alors en conclure que le rayonnement solaire est un facteur clé dans le confort et la satisfaction des usagers ainsi que dans la performance énergétique des bâtiments mais ce n'est pas le seul facteur à prendre en compte pour un habitat durable en Arabie Saoudite.

Nous allons maintenant tenter de comprendre quel est l'impact des systèmes d'ouvertures des bâtiments sur l'ambiance intérieure des pièces au niveau du facteur lumière du jour, niveau d'éclairement en *lux*, puis nous allons utiliser ces mêmes scénarios afin de faire le rapprochement entre la lumière naturelle dans l'espace intérieur et le rayonnement solaire transmis en kWh.

## 6-6 Evaluation de l'espace intérieur

Le travail de recherche se concentre sur l'analyse des niveaux de facteur lumière du jour et d'éclairement dans une pièce spécifique avec différents scénarios d'utilisation du Rowshan (Annexe 5)<sup>41</sup>. Toute la géométrie de la pièce va permettre d'évaluer ces scénarios.

Cette évaluation pour but de voir si l'architecture traditionnelle à Djeddah est efficace au niveau du contrôle climatique par rapport à l'habitat contemporain. Elle évalue la performance de plusieurs scénarios utilisant le rowshan par rapport à l'éclairage naturel dans la journée.

Le but est de démontrer la capacité du rowshan à réduire l'éblouissement provoqué par la lumière du soleil dans les espaces intérieurs des anciennes maisons de la vieille ville de Djeddah en Arabie Saoudite, sachant que le rowshan est un élément essentiel quant à l'intimité visuel des occupants, et donc est utilisé dans toutes les constructions de la vieille

---

<sup>41</sup> En annexe5 on peut trouver une étude similaire menée par Samuel en 2011 et Batterjee en 2009 sur l'élément moucharbieh dans des climats différents qui montre la faisabilité de la simulation.

ville, ce qui démontre le fait qu'il était ancré et irremplaçable. Un autre objectif est d'évaluer la performance du rowhsan par rapport à deux facteurs : d'une part le besoin d'ombrage de la lumière directe du soleil dans l'habitat, d'autre part le besoin de lumière dans ces espaces. Ce dernier est expliqué dans les parties qui suivent.

L'incidence d'un tel dispositif sur la lumière naturelle sera ensuite mise en relation avec le taux de rayonnement solaire entrant qui est un facteur majeur du réchauffement de l'ambiance intérieure et donc de la consommation et du confort de l'utilisateur, ce qui nous permettra de comprendre la problématique majeure du confort dans les espaces intérieurs à Djeddah en ayant une vision globale, y compris par les précédents sondages de satisfaction effectués.

### **6-6-1 Interprétation des données**

L'évaluation de la qualité d'éclairement et de facteur lumière du jour est basée sur l'interprétation des mesures tel que présentées dans le tableau 5-3 du cinquième chapitre. Cela nous permettra alors de comparer les différents systèmes d'ouverture utilisés dans cet espace virtuel et comprendre leur impact sur l'ambiance lumineuse quant à la lumière naturelle.

### **6-6-2 Espace expérimental**

Cette étude a été entièrement effectuée avec les valeurs de facteur lumière du jour d'une salle de séjour virtuelle située à Djeddah, avec cinq scénarios :

- i- Espace avec l'ouverture fermée par un store persienne.
- ii- Espace avec l'ouverture non fermée par le store.
- iii- Espace avec une fenêtre à simple vitrage.
- iv- Espace avec une fenêtre à double vitrage avec air.
- v- Espace avec une fenêtre à double vitrage avec argon.

D'après notre étude qualitative, on a remarqué que les bâtiments traditionnels de la vieille ville ont généralement autour de 40 à 50% (voire 60%) de surface d'ouverture par rapport à la façade (les moucharabiehs comptent comme des ouvertures) alors que le taux

d'ouverture des bâtiments contemporains de Djeddah ne dépasse pas 20% de la façade en moyenne.

Comme on l'avait mentionné précédemment, la porosité des rowshans, en plus de laisser passer la lumière, permet de ventiler naturellement les espaces [DE HERDE ET LIEBARD, 2005]. Ce système de paroi poreuse en bois qui permet de ventiler et absorber l'humidité est très utilisée dans les pays tropicaux [IZARD, 2012], (Figure 6-22).

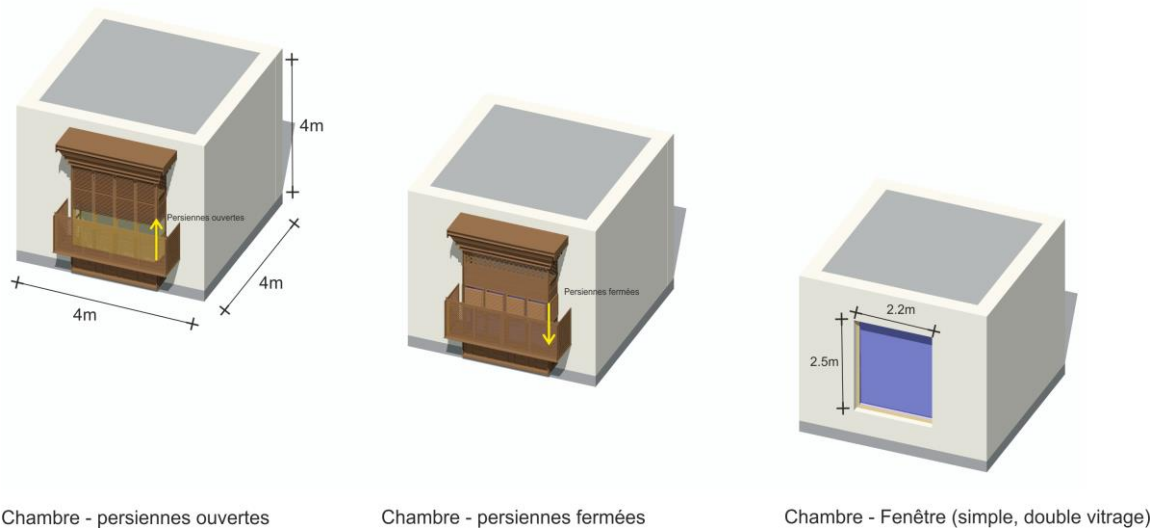
$$\text{Rappel : Porosité} = \frac{\text{Surface des ouvertures à l'air}}{\text{Surface totale}}$$



Figure 6-22 : Des systèmes de rowshan sur une façade, on observe une porosité élevée dans l'habitat traditionnel; par l'auteur.

Le modèle virtuel mesure 4.00 m de largeur par 4.00 m de profondeur avec une hauteur sous plafond de 4.00 m. Le but est d'étudier les différences entre un local avec une ouverture munie d'un rowshan et une ouverture vitrée (simple, double + air et double vitrage + argon) (Figure 6-23).

Le site du bâtiment est présumé vide, c'est-à-dire que l'on va considérer qu'il n'y a aucun masque extérieur dû au bâti environnant pour comprendre le rôle seul des ouvertures dans la quantité d'énergie solaire entrante.



**Figure 6-23 : Dimensions de l'espace et son ouverture pour les 5 scénarios différents (ouverture munie d'un rowshan et une ouverture vitrée : simple, double + air et double vitrage + argon). Sur la première figure à gauche, les persiennes sont ouvertes, elles sont fermées sur la seconde figure.**

### 6-6-3 Fenêtres

Pour chaque scénario, la pièce mesure 4.00m de largeur et longueur et une fenêtre de 2.2m largeur par 2.5m de hauteur. Celle-ci est située à 0.4m du sol et est centrée sur le mur (voir Figure 6-24). L'accès à la pièce se fait par une porte située sur le mur oppose à la fenêtre. Cette porte a été supprimée pour les simulations et remplacée par un mur de la même couleur que les autres. Pour rappel, la transmittance est le pourcentage de radiation qui peut passer à travers le vitrage (Tableau 6-2). Elle est équivalente pour la lumière au facteur solaire pour l'énergie. Dans cette partie nous parlons de la transmittance de la lumière visible (de longueur d'onde 380-780nm) [DUBOIS2001]. Cette simulation a pour but d'évaluer les performances du rowshan par rapport au cas actuel général à Djeddah, en sachant que le persienne est un dispositif très peu utilisé.

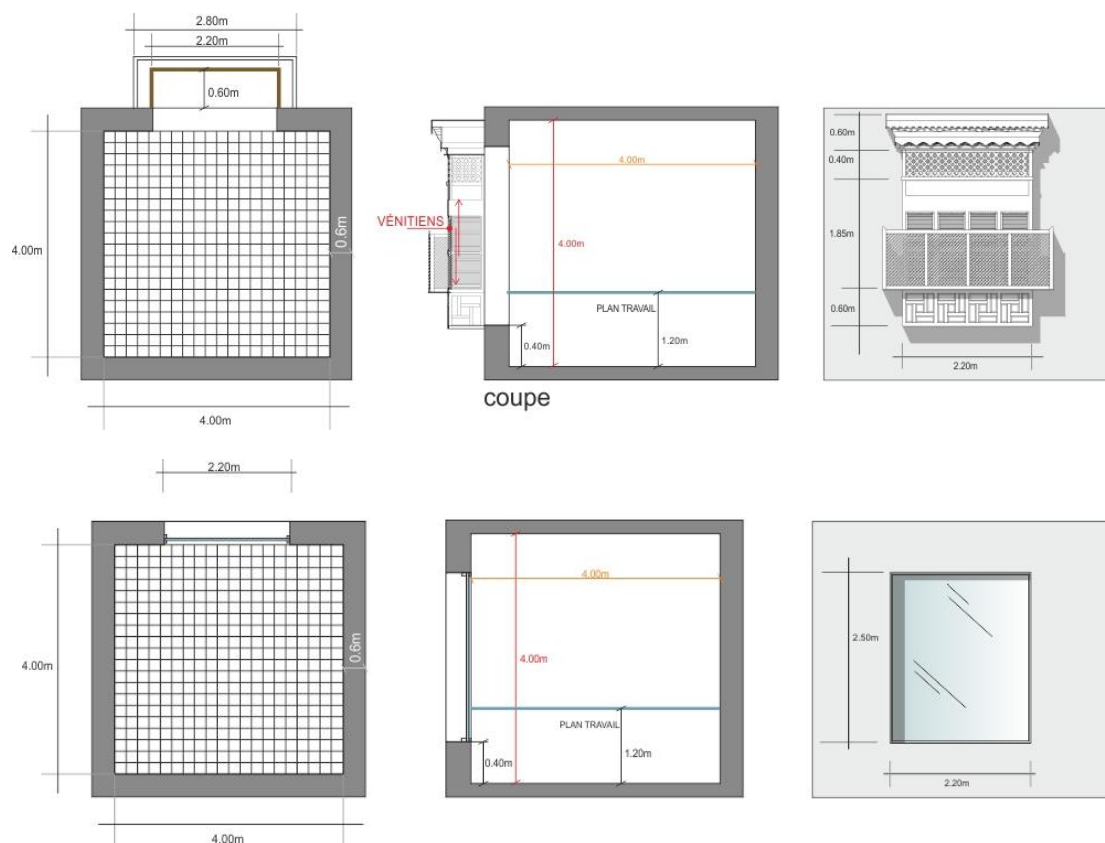


Figure6-24 : Les dimensions intérieures de l'espace ainsi que les détails des scénarios avec rowshan et des ouvertures vitrées.

Scenario	Variables	Espace entre les vitrages	Valeur U (W/m².K)	Valeur U de la menuiserie	Coefficient de transmission solaire	Transmittance visuelle directe	Transmittance visuelle diffuse	Indice de réfraction du verre
1	Simple vitrage		4,8	7	0,75	0,8	0,85	1,74
2	Double vitrage	12 air	2,3	7	0,6	0,76	0,85	1,74
3	Double vitrage	16 argon	1,9	7	0,5	0,72	0,85	1,74
4--5	Bois - Tek		0,4	0,4		0	0,316	

Tableau 6-2 : Données des vitrages et ouvertures dans l'espace virtuelle ; source : Government of Building Regulations 2011.

#### 6-6-4 Murs, sols et plafond

Les murs de la pièce sont recouverts d'une peinture blanche, qui diffuse et réfléchit la lumière. Le plafond est fait de lamelles de bois couvertes d'une peinture claire et le sol est recouvert de moquette beige. Le coefficient de réflexion de chaque composant est : Murs 69%, Plafond 50% et Sol 50% (Tableau 6-3).

		Epaisseur (m)	Valeur U (W/m/K)	Coefficient de réflexion	Coefficient d'absorption solaire
Murs	Couleur claire	0,6	1	0,69	0,31
Sol	Moquette int.	0,2	0,5	0,5	0,5
Plafond	Couleur claire et poutres en bois	0,2	1	0,5	0,42

Tableau 6-3 : Données des parois de l'espace virtuelle.

#### 6-6-5 Système d'ombrage (rowshan)

Un cadre en bois avec un total de huit ouvertures avec des stores persiennes en bois. Le système d'ombrage est placé du côté intérieur du rowshan. Le store vénitien en bois est de type standard de 10mm de largeur et un angle de 60 degrés (persienne 30%). Il est placé à 0.7m de distance par rapport à l'extérieur, ce qui ajoute une épaisseur de plus au mur de 0.4m (Figure 6-25).

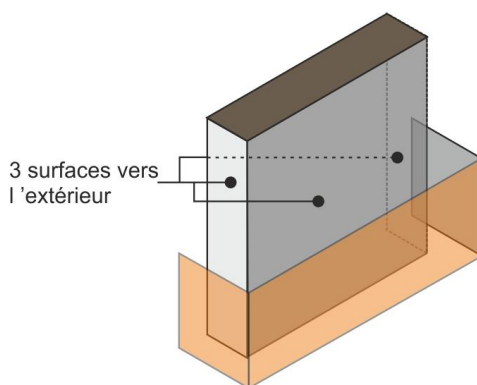


Figure 6-25 : Le rowshan dont les moucharabiehs ressortent sur l'extérieur.

### 6-6-6 Simulations du facteur lumière du jour

Le plan de travail pour calculer le facteur lumière du jour est situé à 1,20 m du sol en utilisant la grille d'analyse d'Autodesk Ecotect (Figure 6-19), l'éclairement fourni par le ciel (100% de FLJ) est de 12 000 lx qui est le standard Ecotect pour Djeddah.

L'analyse est effectuée en découpant la surface d'étude sur une grille échantillonnée 16 par 20. Cinq cas d'étude ont été choisis pour cette évaluation : une fenêtre rowshan ouverte avec 40% de perforation. Une fenêtre rowshan, fermée avec un store persienne en bois, avec 5% de perforation. Une fenêtre à simple vitrage, une à double vitrage avec une lame d'air et une avec un double vitrage avec lame d'argon.

Toutes les ouvertures des cas d'étude sont orientées Nord. Le facteur lumière du jour (FLJ) a été étudié pour voir comment les éléments d'ombrage affectent le niveau d'éclairement intérieur dans des conditions de ciel couvert. En général, il est demandé à ce que le FLJ soit supérieur à 1% mais 2-3% est plus intéressant car cela correspond à 200-300 lx de lumière naturelle quand la luminosité extérieure est de 12 000 lx.

Le Figures 6-26 et le Tableau 6-4 montrent les différents niveaux d'éclairement à l'intérieur de l'espace virtuel pour les 5 scénarios considérés en fonction de l'éloignement par rapport à la fenêtre de 0 à 4 m. On remarque que les 3 types de vitrages, simple, double avec lame d'air et double avec lame d'argon ont des courbes sensiblement similaires. Le facteur lumière du jour est plus faible avec le double vitrage + l'argon qu'avec les deux autres types de vitrages, le complexe ayant la plus petite valeur de transmission lumineuse par rapport aux autres. Les scénarios avec le système de rowshan démontrent un comportement totalement différent de la lumière intérieure, en effet nous pouvons remarquer qu'avec le store persienne fermé, le facteur lumière du jour dans le local est très faible : moins de 0,43% de lumière du jour au début dès les premiers centimètres jusqu'à 0,18% ce qui n'est pas acceptable si on s'en réfère au tableau 5-4 de la partie 5-11-4 du chapitre 5 au fond du local et qui force l'allumage de l'éclairage artificiel pour certaines activités comme la lecture, d'autant plus que le modèle ne présente aucun effet de masque extérieur. Toujours en se référant au tableau 1 de la partie 4-3, on remarque qu'avec un simple vitrage, le taux de FLJ est beaucoup trop haut, même au fond du local (moyen de 5%), sachant que on a calculé que le F.L.J. de ciel sans prendre en compte la réflexion des surfaces externes. Le facteur

lumière du jour avec le rowshan seulement est cependant beaucoup plus adapté que les autres systèmes : à partir d'un mètre de profondeur du local, le taux de FLJ est à une valeur idéale (.66-2%), et ce jusqu'au bout de la pièce (.6% de valeur minimale), (ANNEXE 6).

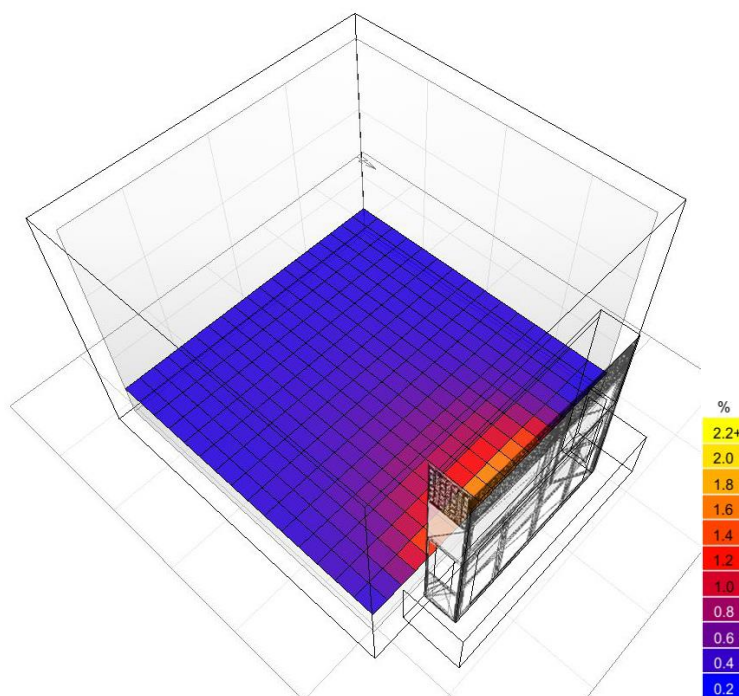


Figure 6-26 : Grille de calcul de FLJ d'Ecotect (scenario avec persiennes ouvertes).

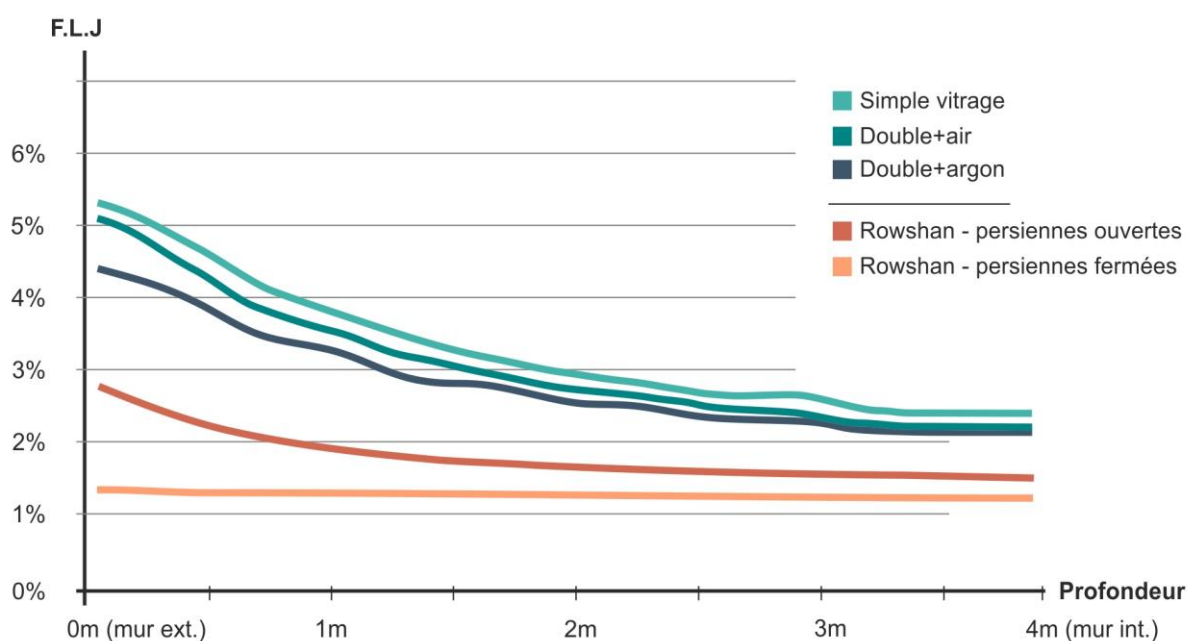







Figure 6-27 : FLJ moyen dans le local virtuel étudié selon les 5 scénarios en fonction de la profondeur du local.



					
	Simple	double -air	double -Argon	Rowshan -persiennes ouvertes	Rowshan -persiennes fermées
0m	5.09	4.82	4.02	2.11	0.40
	4.56	4.18	3.65	1.62	0.41
	3.80	3.42	2.98	1.33	0.40
	3.33	3.02	2.68	1.11	0.39
1m	2.91	2.60	2.27	0.99	0.38
	2.60	2.35	2.13	0.89	0.38
	2.36	2.08	1.88	0.83	0.35
	2.19	1.97	1.79	0.76	0.35
2m	1.98	1.76	1.60	0.73	0.33
	1.99	1.69	1.56	0.70	0.34
	1.73	1.48	1.39	0.68	0.32
	1.69	1.45	1.41	0.66	0.34
3m	1.69	1.44	1.39	0.64	0.33
	1.58	1.36	1.30	0.63	0.32
	1.49	1.29	1.25	0.62	0.31
	1.50	1.27	1.21	0.62	0.30

**Tableau 6-4 : FLJ moyen dans le local virtuel étudié selon les 5 scénario. La 1<sup>ère</sup> colonne correspondre la profondeur des espaces testés .**

Les valeurs de la Figure 6-27 montrent que le système d'ouverture avec rowshan apporte beaucoup moins de lumière naturelle que les systèmes à vitrage (simple et doubles). Dans ce cas d'étude, le rowshan est alors préférable car il y a de forts risques d'éblouissement (jusqu'à 5% de FLJ pour le simple vitrage devant la fenêtre). La valeur du facteur lumière du jour du rowshan avec le store persienne fermé est très stable (autour de .35%) dans toute la profondeur du local, ce qui vient des ouvertures hautes du rowshan que le store ne masque pas et apportent de la lumière jusqu'au fond du local, la diffusion et la réflexion de cet

élément permet à cette lumière de se répartir facilement, de plus la lumière peut pénétrer dans l'espace par les 3 façades de ce dispositif (Figure 6-28).

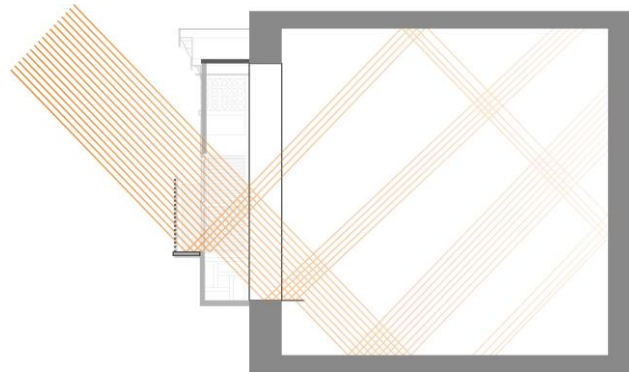


Figure 6-28 : Géométrie des faisceaux solaires projetés dans l'espace protégé par un Rowshan - persiennes ouvertes .

## 6-6-7 Résultats des simulations

A travers l'étude de ces cinq cas, on remarque que le simple vitrage est le dispositif laissant passer le plus de lumière du jour. Le rowshan est le système laissant le moins de lumière entrer, ce qui est bénéfique quand le store persienne est ouvert, cependant le niveau de luminosité est assez stable comparé aux systèmes avec vitrage car l'épaisseur du rowshan fonctionne comme un plan de réflexion de la lumière qui est renvoyée vers le plafond qui diffuse ensuite celle-ci dans la pièce. Au contraire on remarque qu'avec le store persienne fermée un peu de lumière entre par le haut du rowshan. Cela fonctionne pour protéger de la lumière directe du soleil et contre l'éblouissement dans l'espace intérieur, cependant il faut garder à l'esprit que cet espace virtuel se situe dans une zone vide avec aucun masque extérieur, dans un tissu urbain dense le facteur lumière du jour a de grandes chances de ne pas être suffisant. Dans les scénarios avec vitrages (simple et doubles air/argon), la lumière du jour est diffusée dans l'intérieur de la pièce et est reflétée partiellement vers l'extérieur. Le FLJ moyen à l'intérieur est beaucoup plus élevé que pour le rowshan avec store persienne fermée. Les scénarios avec Rowshan donnent de larges possibilités pour contrôler les niveaux d'éclairement naturels dans les espaces intérieurs qui peut être un avantage en comparaison des vitrages simples et doubles qui démontrent les difficultés à contrôler le taux de lumière naturelle dans l'espace intérieur (Figure 6-29).

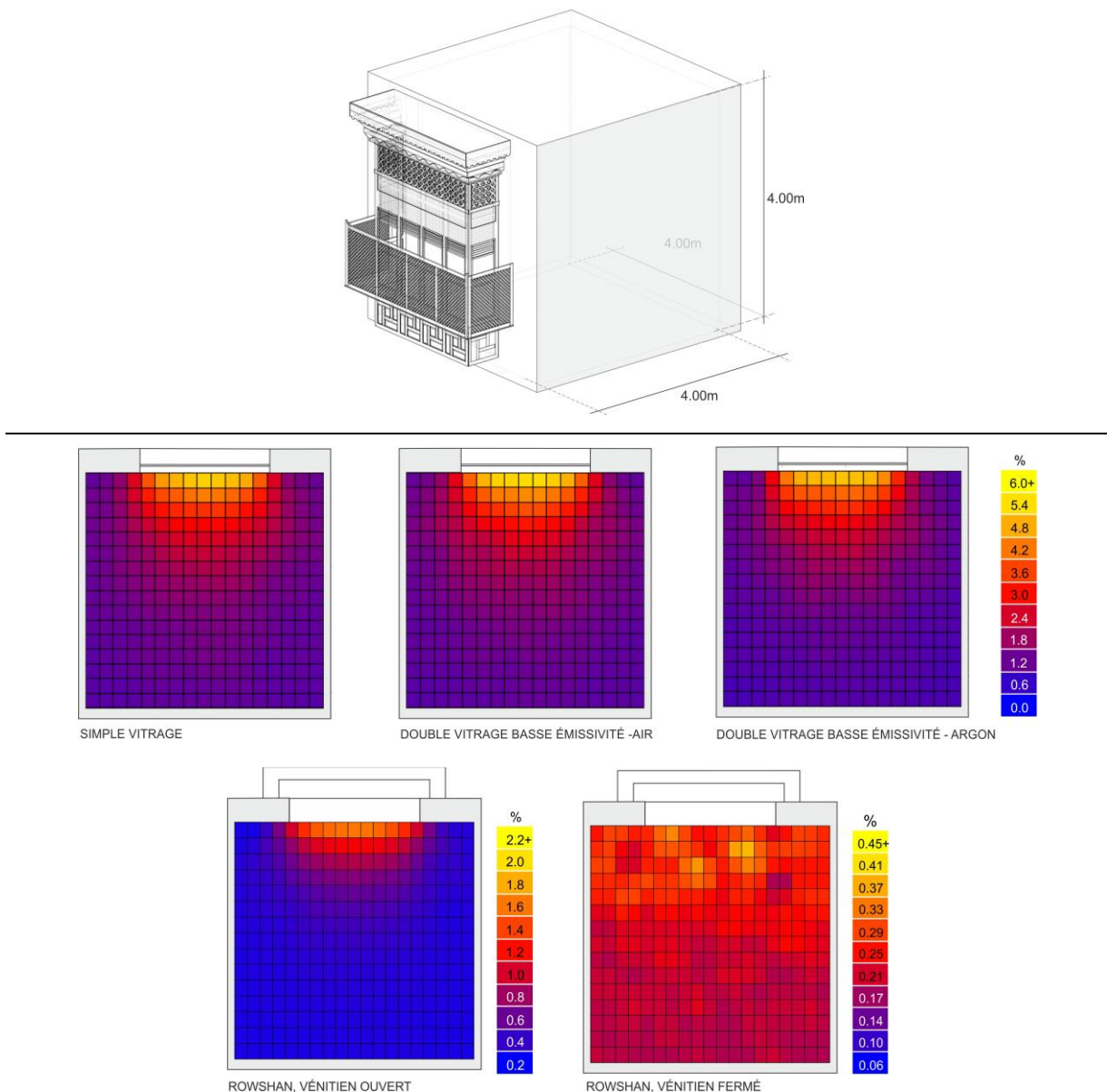


Figure 6-29 : Représentation de l'éclairement naturel dans 5 scénarios. Les échelles de valeurs sont différentes car l'amplitude des écarts entre les dispositifs est trop grande pour permettre de visualiser correctement les valeurs.

## 6-7 Evaluation rayonnement solaire entrant

Dans cette partie nous allons voir maintenant quel est l'impact solaire des cinq scénarios que nous avons précédemment vu pour l'étude de l'éclairage naturel. Un scénario témoin supplémentaire a été ajouté où la façade n'est protégée par aucun dispositif et est ouverte sur l'extérieur sans vitrage ce qui permet ensuite de comparer facilement les données selon le dispositif utilisé et de voir leur effet sur la réduction d'énergie solaire reçue.

Les scénarios (5+1 témoin) ont été simulés sur Autodesk Vasari (Figure 6-30) après avoir réalisé le modèle tridimensionnel sur Autodesk Revit. Cependant Vasari n'a pas pu simuler correctement le rayonnement solaire car il ne détectait pas les fenêtres. Le modèle 3D a alors été importé sur AUTODESK Ecotect afin de voir l'impact du choix des fenêtres sur le rayonnement solaire.

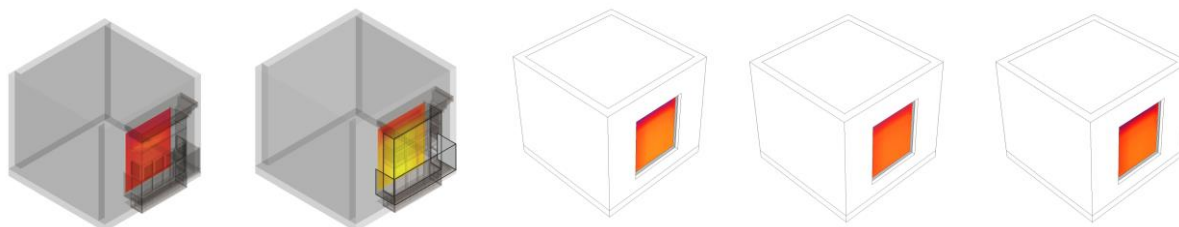


Figure 6-30 : Simulation du taux de radiations reçu pour les Cinq scénarios principaux.

On remarque sur la (Figure 6-31) que l'orientation Nord reçoit une certaine quantité de rayonnement solaire, par exemple : environ 804 kWh quand les stores persiennes sont ouvertes. Cela s'explique en grande partie par le fait que le système de Rowshan dispose de 3 façades sur l'extérieur car il ressort de la façade dans laquelle l'ouverture est présente. Les rayons du soleil sont alors projetés vers l'espace intérieur par les moucharabiehs.

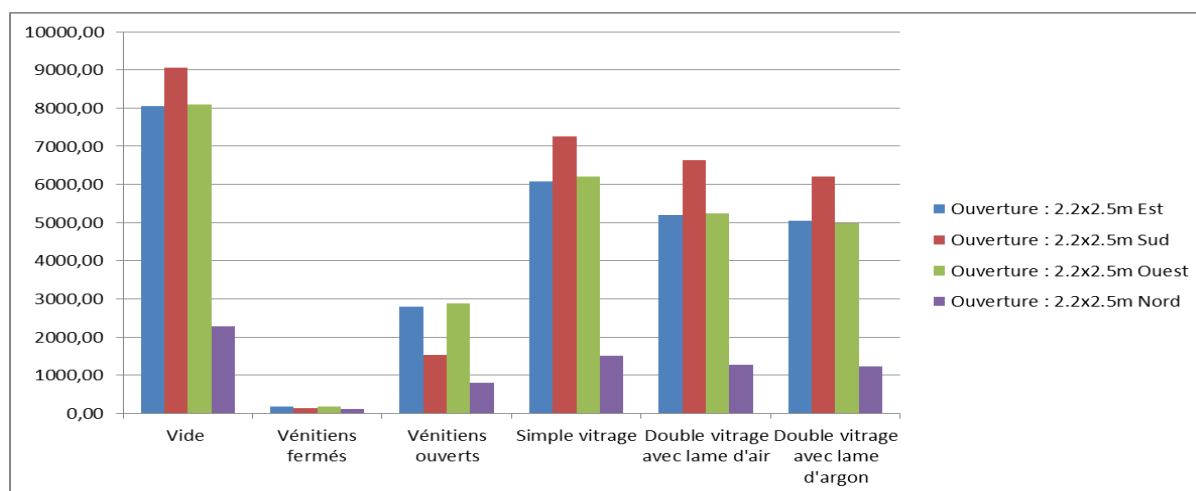


Figure 6-31 : Energie solaire en kWh/an reçus dans l'espace intérieur selon l'orientation en fonction du type d'ouverture considéré.

En mettant en relation les puissances solaires transmises obtenues avec cette simulation avec les puissances solaires incidentes reçues par les façades des bâtiments, on peut ensuite en déduire l'effet du tissu urbain sur la puissance incidente grâce au scénario d'ouverture

témoin situé dans un lieu virtuel sans aucun masque et donc de l'énergie reçue dans l'année par le local.

En posant :

$$\text{Coefficient de réduction d'énergie} = \frac{\text{Energie incidente dans le tissu urbain}}{\text{Energie incidente sans masques}}$$

A partir de cette relation, nous pouvons en déduire les puissances transmises dans les espaces intérieurs selon le type de tissu urbain. Par exemple l'énergie transmise dans le scénario du Rowshan ouvert est de 364,29 kWh/m<sup>2</sup> dans la simulation virtuelle. Le tableau 6-5 montre la quantité d'énergie incidente (en kWh/m<sup>2</sup>/an) arrivant derrière les ouvertures en fonction du dispositif de protection de la façade. En appliquant la relation précédente avec la zone 1 de la vieille ville (voir chapitre 6) on obtient :

$$\text{Coefficient de réduction d'énergie} = \frac{254,64 \text{ kWh/m}^2}{1305 \text{ kWh/m}^2} = 0.19$$

On multiplie alors ce coefficient par l'énergie transmise dans l'espace intérieur sans tissu urbain environnant :

$$\text{Energie transmise} = 0.19 * 364,29 = 71 \text{ kWh/m}^2 / \text{an d'ouverture}$$

En comparaison, avec la persienne fermée toute l'année, l'espace intérieur ne recevrait que 5,1kWh/m<sup>2</sup>. Ces valeurs sont informatives et ne peuvent pas être appliquées sur des logements en particulier, elles démontrent seulement une moyenne sur toutes les façades et permettent d'apprécier l'échelle des impacts de chaque élément de façade choisi en fonction du tissu urbain.

On peut voir ici l'impact très visible du tissu urbain sur le rayonnement global sur les façades, il joue un rôle extrêmement important quant à la protection face aux rayons directs du soleil. De plus on peut voir que le Rowshan a un impact également très important pour diminuer l'énergie solaire entrante (entre 2 et 28% de l'énergie incidente qui entre), d'autant plus qu'en mettant en relation ces résultats avec ceux des enregistrements effectués in situ, on remarque que le Rowshan reste malgré tout efficace quant à l'éclairage naturel.

1m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> /an	Le pourcentage de l'énergie du rayonnement solaire entrant des scenarios étudiés
Surface sans protection	1305.51	100%
Venitiens fermés	26.88	2%
Venitiens ouverts	364.29	28%
Simple vitrage	956.62	73%
Double vitrage lame d'air	833.34	64%
Double vitrage lame d'argon	764.43	58%

**Tableau 6-5 : Comparaison des valeurs de transmission d'énergie de l'espace intérieur sans tissu urbain environnant et de l'énergie incidente selon le tissu urbain en kWh/m<sup>2</sup>/an, toutes orientations confondues.**

## 6-8 Conclusion

Dans le chapitre précédent, nous avons pu analyser la façon dont les occupants vivent leur habitation et leur taux de satisfaction moyenne quant à des éléments de confort physique et socio-culturel. Ici, des simulations par ordinateur et une campagne de mesures permettent de mieux comprendre certains facteurs de confort climatique en les quantifiant en fonction des caractéristiques du logement. Ces deux approches permettent de mettre en relation les besoins des usagers et les caractéristiques de l'environnement intérieur et extérieur afin de trouver un moyen de concilier ces deux aspects du confort dans l'habitat en Arabie Saoudite. Grâce à cela, nous avons pu mettre en évidence le fait que les habitants sont prêts à sacrifier du confort visuel (luminosité, vues) au profit d'une intimité visuelle renforcée via des écrans séparant l'intérieur de l'extérieur.

L'architecture traditionnelle saoudienne a été modelée par le climat et les ressources naturelles (par exemple l'usage de pierres coralliennes pour les logements à Djeddah) ainsi que plusieurs dispositifs pour rafraîchir de façon passive l'habitat. Actuellement, le maître

mot est l'usage de la climatisation à outrance, ce qui a rendu les dispositifs architecturaux traditionnels obsolètes mais en contrepartie augmente considérablement la consommation énergétique et donc la facture comme on a pu le voir précédemment dans les résultats du sondage.

Les façades des bâtiments sont l'interface intérieur-extérieur qui va déterminer plusieurs facteurs de l'ambiance intérieure comme la ventilation naturelle, la lumière et le taux d'énergie solaire entrante. En mettant en relation la façade et le tissu urbain, on peut ensuite estimer de façon quantitative l'impact de celle-ci sur le confort des habitants.

En analysant alors des dispositifs particuliers comme le rowshan, nous avons pu voir les effets de ceux-ci sur l'ambiance intérieure. Il apparaît alors que ce système d'occlusion traditionnel est assez performant en restant ouvert, beaucoup plus adapté que les systèmes contemporains (doubles vitrages par exemple) quant à la quantité de lumière qui pénètre dans l'espace intérieur tout en gardant une certaine intimité visuelle et en apportant une ambiance lumineuse unique. Cependant, quand la persienne du rowshan est fermée, très peu de lumière entre et force alors l'allumage de l'éclairage artificiel comme observé dans les mesures *in-situ* du chapitre 5.

Cette partie met alors en évidence le fait que la façade, ainsi que ses éléments d'ouverture, est essentielle pour réguler les ambiances intérieures et la satisfaction des occupants, l'amélioration des deux facteurs, confort physique et satisfaction sociale, passe alors par le traitement de la façade et c'est un facteur essentiel pour une architecture durable en Arabie Saoudite de l'Ouest jusqu'en Egypte.

L'ensemble des données de ces évaluations ont été synthétisées dans un tableau (Tableau 6-6) permettant de visualiser et de comparer tous les paramètres généraux de cette étude.

	Architecture	Tissu urbain	Espace habité								
			Structure	Etages	Murs	Ouvertures	Toitures	Plafonds	Finitions	Fournitures	Sys. de ventilation
Qualité hygrothermique		●	●	●	●	●	●		●		●
Qualité de l'air		●		●	●	●					●
Qualité visuelle	●	●			●	●	●	●	●	●	●
Contrôle de l'humidité		●			●	●					●
Contrôle radiations thermiques		●		●	●	●	●		●		●
Contrôle de la température de l'air		●		●	●	●	●		●		●
Contrôle des mouvements d'air		●			●	●	●				●
Énergie		●	●	●	●	●	●		●		●
Intimité visuelle	●	●		●	●	●	●	●			
Confort acoustique	●	●			●	●		●			●
Culture et religion	●	●		●		●				●	
Social et communication	●	●		●	●	●	●			●	
Revenu et économie	●			●	●	●			●	●	●
Espaces utiles	●	●		●		●	●	●		●	
Enveloppe protégée					●	●	●		●		●
Qualité structurelle			●		●	●		●			
Sécurité contre les incendies											
Maintenance											

Tableau 6-6 : Transposition du tableau d'Allen [Allen 2005] sur notre recherche, par l'auteur.



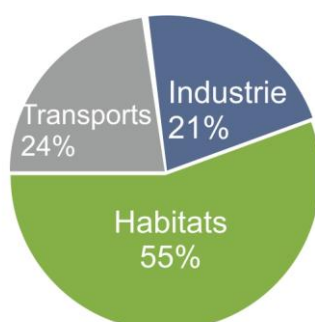
## Chapitre 7

---

### **DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE**

Aujourd'hui, l'Arabie Saoudite connaît un fort développement dans le domaine de l'industrie de la construction. Une des principales raisons de cette croissance est la hausse de la demande de logements, qui crée à son tour de nombreuses d'opportunités d'investissement dans ce domaine d'activité. Les utilisateurs finaux, les résidents et les investisseurs, cherchent dans ces projets de logement la satisfaction de leurs critères esthétiques et de confort, ce qui crée un phénomène où l'accent est mis sur l'aspect extérieur des bâtiments et sur la qualité de l'intérieur. Cependant, le confort physique des habitants est étroitement lié à une consommation accrue d'énergie, notamment pour la climatisation et la ventilation mécanique.

L'Arabie Saoudite est aujourd'hui classé parmi les pays ayant le plus haut niveau de consommation d'énergie enregistré dans les ménages comme on a indiqué au début de cette recherche. En fait, les dépenses d'énergie des ménages dépassent de plus de 50% le niveau de consommation globale du pays (Figure 7-1) ; 60% pour le refroidissement et 23% pour l'éclairage.



Energy consumption in Saudi Arabia  
source: Saudi Electricity Company

**Figure 7-1 : Principaux postes de consommation énergétique en Arabie Saoudite ; sources [SEC Saudi Arabia 203].**

Étant donné que le pays dispose de grandes quantités de pétrole (utilisé comme source principale d'énergie), le haut niveau de consommation n'est pas une raison d'inquiétude pour les habitants. Le journal *Al Riyadh* (2013), dans le but de sensibiliser les habitants à ce sujet, a affirmé que la consommation annuelle d'énergie en Arabie Saoudite, qui est d'environ 40 barils par habitant, est la plus élevée au monde, en complément de la croissance de la consommation qui atteint environ 7% par an. Selon le rapport

d'*International Energy* [WINCHIP, 2005], le taux de consommation d'énergie dépassera 612 quadrillions Btu en 2020, tout en tenant compte du fait que l'Asie et l'Afrique enregistrent le plus grand nombre de consommateurs d'énergie. Il faudrait donc trouver une solution à ce problème en commençant par la partie design des bâtiments, en prenant en considération les facteurs environnementaux dans la volonté de rendre les logements plus confortables.

Lorsqu'on analyse l'histoire de l'architecture en Arabie Saoudite, notamment dans la région de Hedjaz, les logements étaient conçus en respectant les facteurs sociaux, économiques et environnementaux, ce qui permettait la création d'espaces de vie confortables sans faire appel à la technologie ou aux sources complémentaires d'énergie. Ce qui attire notre attention est le fort caractère régional de ces bâtiments, sous l'aspect esthétique et utilitaire. Certains auteurs affirment que le succès enregistré par l'architecture vernaculaire dans la création d'espaces confortables a été le résultat de nombreux essais [FATHY, 1986], d'autres considèrent que cela ne relève que de simples coïncidences [AKBAR, 1992]. Au-delà de la valeur de vérité de ces affirmations, l'architecture vernaculaire prouve que le problème émergent de la consommation d'énergie peut être solutionné à partir des premières étapes de la conception.

Différentes observations et recherches ont permis d'émettre l'hypothèse selon laquelle les bâtiments traditionnels respectent les principes du développement durable et offrent également un niveau élevé de confort physique et social. Ce travail de recherche vise l'étude des notions de confort physique et social au sein d'habitations mais aussi d'éléments d'architecture traditionnelle à Djeddah au Hedjaz. L'analyse des différents aspects du développement durable a été réalisée en s'appuyant sur les fruits des précédentes recherches, sur des méthodes d'évaluation et de mesure, l'étude comparative des logements traditionnels et contemporains et l'opinion des habitants concernant leurs demeures.

Le but de cette étude est de montrer quels sont les facteurs principaux dans l'obtention du confort physique et social lors de la conception de logements contemporains dans l'Arabie Saoudite en évitant le gaspillage d'énergie (Figure 7-2). Afin d'atteindre cet objectif, nous avons choisi d'analyser différentes sources **d'inconfort** dans le but d'offrir une perspective globale sur le degré de confort, de viabilité et de longévité des habitations, sur les

principales caractéristiques des demeures traditionnelles, ainsi que sur la façon dont les villes d'Arabie Saoudite évoluent et les effets de cette évolution sur le confort des logements. De surcroît, nous avons réalisé des évaluations physiques afin d'étudier les notions de confort social, de bâtiment traditionnel et contemporain et leurs effets sur les espaces intérieurs.

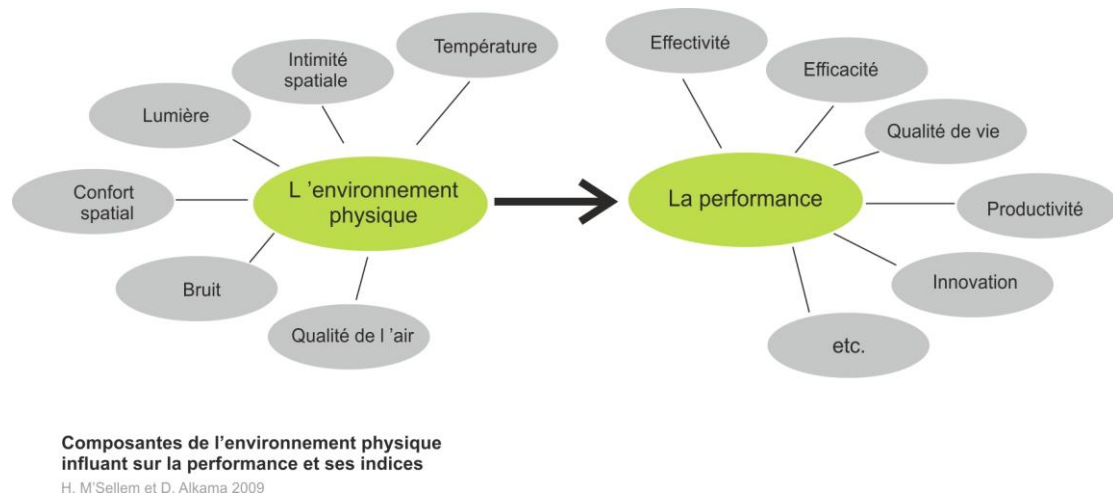


Figure 7-2 : Facteurs de confort et de performance ; par l'auteur d'après [Alkama 2009].

## 7-1 Discussion

De manière générale, ce travail de recherche s'appuie sur trois approches scientifiques : la méthode descriptive, la méthode analytique et le rapport d'évaluation. En faisant appel à la méthode descriptive, nous avons réalisé une étude générale des éléments d'architecture traditionnelle arabe, de leur utilisation dans les maisons de Djeddah ainsi que de leur influence sur le confort physique et social des habitants. La méthode analytique nous a permis d'utiliser des protocoles d'évaluation de la qualité de l'environnement intérieur après occupation « *Post Occupancy Evaluation* » afin d'analyser l'efficacité des bâtiments et la perception qu'ont les habitants du niveau de confort dans les résidences. La méthode de l'évaluation a été utilisée notamment dans l'observation des logements, y compris des éléments nouveaux et traditionnels d'architecture, de leur efficacité et influence sur le confort intérieur. Les outils employés en support de cette méthodologie comprennent : des appareils d'enregistrement des données climatiques, des logiciels de dessin architectural, des logiciels qui simulent les données climatiques au sein d'espaces bâtis, et le questionnaire conçu sur le système d'évaluation après occupation. De cette manière, la méthodologie a

été organisée autour de trois éléments essentiels afin d'évaluer les demeures contemporaines et leur performance comparée à celle des habitations traditionnelles : une étude qualitative basée sur le concept d'évaluation après occupation (Post Occupancy Evaluation : POE), une enquête quantitative de terrain réalisée avec des outils d'évaluation et une étude quantitative comparant les maisons traditionnelles avec les logements contemporains de la région.

L'enquête qualitative a pris la forme de l'analyse des résultats des questionnaires. Ceux-ci ont été distribués à un échantillon de personnes résidant dans des logements contemporains à Djeddah afin de connaître leur niveau de confort physique et social. L'accent a été mis sur l'étude des façades et de leur influence sur l'intimité, la sécurité, et d'autres éléments de confort physique. Les résultats de cette étude ont été confirmés par la perception des habitants concernant le confort social de leurs foyers, et par leurs réponses aux questionnaires distribués.

Les questionnaires ont été conçus à partir du système d'évaluation après occupation (POE). Il a été prouvé que cette méthode surpasse d'autres outils d'évaluation car elle assure la boucle de rétroaction qui peut être obtenue uniquement après avoir vécu dans un espace ou dans un environnement bâti. En effet, cette méthode a été utilisée par de nombreux spécialistes en tant que principal outil pour évaluer la satisfaction des habitants quant à la qualité des espaces intérieurs.

Le système POE utilisé pour ce travail de recherche comprend trois éléments principaux. Il s'agit en premier lieu de **l'évaluation de la qualité de l'environnement intérieur** (Indoor Environmental Quality : IEQ) qui est étroitement lié au confort de l'habitant et à la satisfaction des critères de qualité de vie, notamment la qualité de l'air et l'éclairage naturel. Un autre élément est la **vérification de la performance** des bâtiments en fonction des données disponibles concernant les logements des participants à l'étude et la consommation d'énergie par habitant. Cela a été réalisé à travers des questions relatives aux factures d'électricité et d'eau, et grâce à d'autres informations sur les bâtiments qui ont permis d'évaluer les conditions matérielles de vie. On peut affirmer que cette vérification a fait appel à une méthode similaire à celle utilisée par les systèmes d'évaluation des bâtiments à haute qualité environnementale, comme LEED. En dernier lieu, nous avons analysé les résultats des questionnaires (visant la perception des participants sur le confort et sur les

conditions matérielles de leurs logements) afin d'obtenir une **évaluation holistique** reliant les réactions comportementales des habitants à l'évaluation de la performance des bâtiments [TAKKI 2007].

Djeddah étant désigné comme étude de cas, les questionnaires ont été mis en ligne et distribués uniquement aux habitants de Djeddah via les réseaux sociaux, notamment Facebook et What's App. L'utilisation des réseaux sociaux et des questionnaires en ligne nous a permis de contacter un nombre important de personnes ; de plus, il est plus facile de gérer l'enquête en ligne. Les questionnaires ont été remplis par plus de 1100 habitants. Nous avons filtré les réponses afin d'obtenir les résultats les plus précis possibles. Les questionnaires incomplets ainsi que les réponses des personnes n'habitant pas à Djeddah au moment de l'étude ont été éliminés. Nous avons ainsi obtenu 384 questionnaires exploitables.

Selon le type de logement occupé, l'enquête concerne 216 personnes qui vivent en appartement (56%), 114 en villa et palais (30%) et 54 dans des maisons mitoyennes (14%). Les villas et les palais sont les plus grands logements étudiés, d'une superficie moyenne de 578m<sup>2</sup>, suivis par les maisons mitoyennes (surface moyenne de 368m<sup>2</sup>). Les plus petites unités étudiées sont les appartements avec une étendue moyenne de 272 m<sup>2</sup>. Les logements ont en moyenne 14 ans.

Les questionnaires comprenaient 58 questions formulées à la suite des lectures de spécialité sur des sujets similaires. De plus, ils ont été écrits en arabe, afin qu'ils soient accessibles au plus grand nombre d'habitants. Pour arriver aux résultats indiquant des tendances générales, nous avons réalisé une analyse fréquentielle afin de comparer les différents taux de satisfaction pour les paramètres étudiés. Par conséquent, seulement certaines questions ont été sélectionnées pour l'analyse, les autres étant réservées pour de futures recherches. L'étude utilise une échelle de satisfaction de 1 (pas satisfait) à 7 (très satisfait) afin d'évaluer les conditions physiques : l'humidité, la qualité de l'air, les bruits produits par la climatisation, la ventilation naturelle, l'éclairage naturel et artificiel.

Les résultats de l'enquête montrent que les logements offrant le plus bas niveau de satisfaction en termes de confort physique sont les appartements. Le niveau moyen de satisfaction relatif au confort thermique est plutôt réduit en appartement (3.82/7) comparé aux villas (4.21/7), mais plus élevé que pour les maisons mitoyennes (3.52/7). Quant à

l'orientation du bâtiment, 60% de la population préfère les façades orientées vers le nord (niveau moyen de satisfaction de 4.65/7), tandis que celles orientées vers le sud sont moins désirables, avec un niveau moyen de satisfaction de 4.59/7. Les façades vers l'est ou l'ouest ont enregistré le plus bas niveau de préférence. Le confort social repose largement sur le sentiment de sécurité et celui d'intimité corrélés de manière positive. Cependant, la corrélation entre le confort social et le confort physique a des implications opposées. Plus on bénéficie d'intimité, moins on a de confort physique. Nous avons observé que dans les zones à forte densité démographique les habitants cherchent l'isolation par rapport à l'extérieur, ce qui les amène à vivre dans des espaces qui sont trop sombres, humides et mal ventilés. Dans d'autres zones, où la densité est plus réduite et les bâtiments sont plutôt espacés, les habitants optent pour des fenêtres et des espaces ouverts qui laissent entrer la lumière et la chaleur du soleil, ce qui n'est pas désirable dans la ville de Djeddah.

Le deuxième aspect-clé de ce travail de recherche, l'analyse quantitative, a pris la forme d'une étude de terrain visant à examiner le niveau de confort physique et social à travers l'observation et l'utilisation d'outils de mesure. Cette étape a permis l'acquisition de données effectives sur la performance des bâtiments, qui ont été ensuite comparées avec les résultats de l'enquête par questionnaire.

Comme méthode d'obtention de données nous avons utilisé des appareils pour mesurer la température, l'humidité et la luminosité. Des enregistreurs HOBO ont été installés dans trois endroits différents au sein de trois logements à Djeddah pendant 67 jours de juin à août 2013. Les appareils enregistraient des données toutes les 10 minutes durant cette période. Les informations ainsi obtenues ont ensuite été saisies à l'aide du logiciel HOBO.

Nous avons prêté une attention particulière au choix des espaces examinés, afin qu'ils soient représentatifs pour trois types de logements à Djeddah. Le premier (A) était un espace dans une villa privée orientée vers le nord-est. Les deux façades ont des volets qui permettent aux habitants de se protéger contre la lumière extérieure. Le deuxième espace (B) est un salon spacieux à l'intérieur d'une maison, orienté vers le nord-est. Celui-ci a été choisi pour son design qui tient compte des facteurs de confort physique et social. Les façades, notamment celle orientée vers l'est, sont près des maisons voisines. Les deux façades possèdent aussi des fenêtres qui donnent sur une piscine privée extérieure. Le troisième espace (C) est

également un salon dans une villa privée. Il est orienté vers le sud-est. Seulement la façade sud a une fenêtre située à une distance de 4 mètres de la façade voisine.

En ayant pris le choix de sélectionner 3 types de logements bien distinctes mais répondant pleinement aux 3 catégories majeurs de l'habitat saoudien et arabe, nous avons pu observer que, parmi les espaces étudiés, le logement A est le plus exposé à la lumière du soleil du matin à midi. Ceci s'explique par le fait que la maison (A) n'est pas entourée par d'autres bâtiments sur le côté est, donc la façade est reçoit plus de lumière naturelle le matin. Le logement (B) est plus à l'abri de la lumière solaire grâce aux bâtiments voisins. Ces éléments semblent influencer sur le comportement des habitants. Les résidents de la maison (A) doivent utiliser des volets afin de contrôler la quantité de lumière et de se protéger contre l'éblouissement. Par conséquent, nous avons observé que les résidents du logement B étaient plus satisfaits par rapport à la lumière naturelle que les personnes vivant dans la maison A (5/5 contre 3/5). Il faut aussi mentionner que grâce à la présence des fenêtres sur la façade nord, les logements bénéficient de plus d'heures de lumière naturelle durant la journée.

Les informations obtenues sur la température et l'humidité ont été intégrées sur un diagramme psychométrique à l'aide du logiciel Autodesk Ecotect qui permet d'illustrer les données en rapport avec le confort physique. Nous avons observé que la demeure A correspond le plus aux attentes des résidents en termes de confort thermique. Cependant, celle-ci atteint un niveau d'humidité plus élevé que celui du logement B. La demeure C enregistre, quant au niveau de température et d'humidité, des résultats similaires à ceux du logement B. En tenant compte d'autres facteurs, y compris des modèles comportementaux des utilisateurs, nous avons conclu que la demeure B est la plus confortable en termes d'humidité et de température, enregistrant également le niveau le plus réduit de consommation d'énergie.

Concernant le confort social, il nous semble évident pour les trois cas étudiés que l'intimité visuelle est la qualité la plus appréciée dans les maisons d'Arabie Saoudite. Nous avons observé, dans les trois situations analysées, la présence de hauts murs ou d'éléments de



protection supplémentaire sur les murs dans le but d'assurer plus d'intimité pour les résidents, malgré leur effet sur l'apparence du bâtiment et sur le confort physique des résidents. Comme tendance générale, nous avons observé que lorsque le niveau d'intimité visuelle monte, celui de confort physique descend. Dans la demeure A, les volets installés au niveau des fenêtres offrent un plus d'intimité, mais isolent complètement le bâtiment de l'extérieur, le rendant plus dépendant de la lumière artificielle. De la même manière, le bâtiment C possède des grands volets extérieurs dans le but d'assurer plus d'intimité visuelle par rapport aux demeures voisines. Ces volets ont été installés à deux mètres des fenêtres, ce qui engendre une réduction considérable dans la quantité de lumière naturelle dont bénéficie le bâtiment. Par contre, la résidence B atteint un niveau adéquat de confort physique et social à la fois (Figure 7-3).

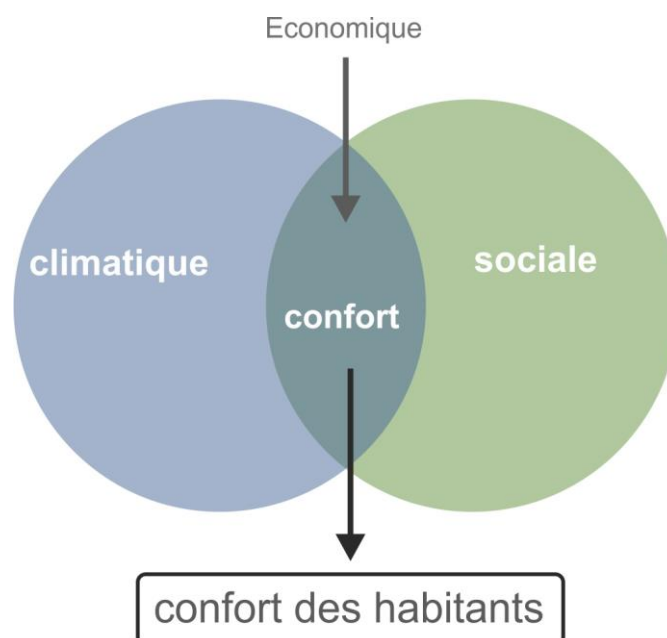
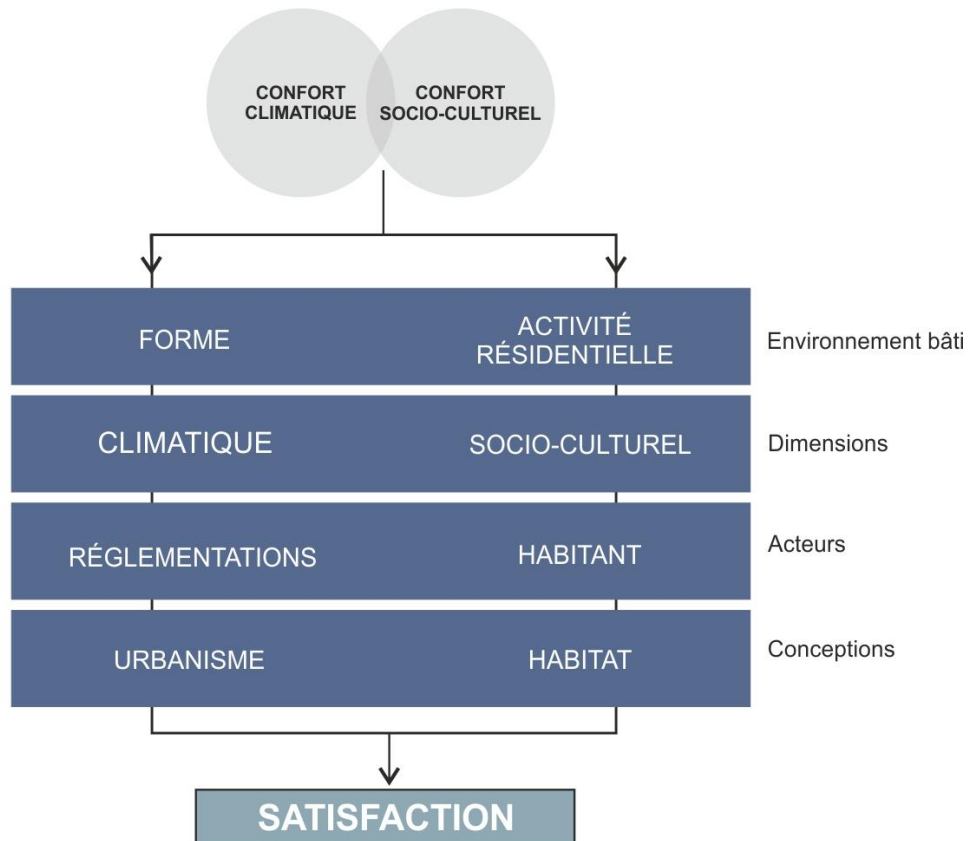


Figure 7-3 : Les facteurs climatiques et socio-culturels amènent au confort de l'habitant ;  
par l'auteur.

Les résultats de ce travail de recherche montrent dans quelle mesure la plupart des maisons en Arabie Saoudite prêtent beaucoup d'attention au concept d'intimité au détriment d'autres facteurs de confort physique. En effet, ceci confirme l'hypothèse du système POE : la relation négative entre le confort physique et le confort social. Le confort thermique n'a pas été pris en considération car la majorité des résidents utilisent la climatisation pour maintenir une température adéquate. Toutefois, le logement B représente un cas particulier

par rapport aux autres logements étudiés et aux résultats POE. Cet exemple prouve qu'il est possible d'atteindre le niveau optimal de confort social et physique dans les demeures contemporaines uniquement lorsque le bâtiment a été conçu en accord avec les normes environnementales (Figure 7-4).



Inspirée par BRANTON 2005, Evaluation of the Built Environment for Sustainability

**Figure 7-4 : Liens entre le confort climatique et le confort socio-culturel ; par l'auteur.**

Après avoir bien identifié les problèmes des maisons contemporaines à l'aide de résultats mesurables, et en partant du principe que les maisons traditionnelles à Djeddah sont plus répondeuses au climat, nous avons réalisé une analyse quantitative visant les résidences traditionnelles de la ville, étudiées en parallèle avec les logements contemporains. Cette analyse repose sur la comparaison entre le tissu urbain de la vieille ville et la structure de la ville contemporaine, ainsi que sur l'étude d'éléments caractéristiques au niveau de l'architecture des façades dans les demeures traditionnelles et contemporaines de la région. Pour réaliser cette comparaison nous avons dû obtenir des informations concernant le contexte de la ville de Djeddah et des sites étudiés, ainsi qu'un modèle numérique nous permettant de continuer la recherche. L'Université du roi Abdulaziz de Djeddah nous a

fourni des informations sur le contexte physique de la ville, sous la forme de fichiers CAD. Les données climatiques ont été achetées sur le site Internet ([weatherspark.com](http://weatherspark.com)), une collection virtuelle de données climatiques mondiales enregistrées au cours de plusieurs années. Le modèle numérique est un modèle tridimensionnel réalisé à l'aide du logiciel Autodesk Revit, qui est compatible avec d'autres logiciels de la suite Autodesk BIM pour les simulations écologiques. Nous avons choisi et représenté quatre tissus urbains afin d'illustrer le parallèle entre la partie ancienne de Djeddah et la ville contemporaine. De plus, nous avons créé un modèle de logement en miniature afin de réaliser une comparaison entre les anciennes et nouvelles façades dans cinq cas différents. Les quatre sites ont été choisis avec attention afin d'illustrer de manière globale et cohérente les anciens et nouveaux tissus urbains de Djeddah. Les zones sélectionnées mesurent chacune 100 mètres sur 100 mètres ; deux se situent au sud, dans la partie ancienne de la ville, et les deux autres dans la zone contemporaine au secteur nord de Djeddah.

Les deux zones représentatives de la vieille ville diffèrent quant à la densité des bâtiments ; l'une comprend 49 édifices et l'autre 64, sur une superficie totale de 10,000 m<sup>2</sup>. Cela a eu un rôle essentiel dans la conception des rues et des espaces ouverts entre les bâtiments. La première zone présente plus d'aires ouvertes. Malgré les différences en termes de densité, nous avons observé que les rues étaient généralement orientées vers le nord-ouest et le sud-ouest, notamment dans le but de pouvoir profiter de la brise marine. En effet, cette configuration a une influence considérable sur les conditions climatiques dans la zone étudiée. De manière générale, la vieille ville de Djeddah semble créer un microclimat satisfaisant, avec des courants d'air agréables qui passent par les ruelles étroites vers les grands espaces extérieurs et les façades des édifices. De surcroît, la plupart des rues et des façades sont à l'abri de la lumière directe du soleil grâce à la présence d'autres bâtiments.

Ensuite nous avons désigné deux zones dans la partie nouvelle de la ville. La première comprenait des immeubles d'appartements d'hauteur moyenne et la deuxième se composait de villas individuelles et de maisons en rangée. Il est important de préciser que les zones choisies sont représentatives de la majorité des secteurs résidentiels à Djeddah. Par rapport à l'ancien tissu urbain, la nouvelle structure se distingue grâce à ses rues plus larges et à la disposition orthogonale des édifices. Par conséquent, les rues et les bâtiments bénéficient de plus d'énergie solaire. En fait, le niveau annuel d'énergie est plus élevé que

celui enregistré dans le secteur ancien de la ville. Cependant, la zone des immeubles semble recevoir moins d'énergie solaire car ces édifices sont plus élevés et font plus d'ombre autour d'eux.

Les résultats de la comparaison entre le secteur ancien et contemporain de la ville ont mis en évidence les éléments qui influent le plus sur le microclimat et sur la qualité d'une zone résidentielle. La hauteur des immeubles, la largeur et l'orientation des rues, ainsi que l'orientation des façades sont des facteurs essentiels pour la qualité des logements et le confort social et physique des résidents. En conséquence, dans le vieux centre, où les rues sont plus étroites et les édifices ont des formes variées, les façades entrent moins en contact avec les rayons du soleil par rapport à celles de la nouvelle ville. Dans les deux zones, les façades nord sont les plus protégées contre la lumière solaire, étant généralement le premier choix des résidents. Les façades ouest sont désirées également pour la fraîcheur de la brise marine.

Après avoir identifié les éléments qui influencent le microclimat d'un site et enregistré la quantité d'énergie solaire dont bénéficient les extérieurs des bâtiments, nous avons réalisé une expérience virtuelle. À ce titre, nous avons analysé différents scénarios afin de comparer l'efficacité des façades contemporaines et traditionnelles par rapport à la préservation de l'énergie. La plupart des bâtiments contemporains utilisent des vitrages pour leurs façades, tandis que les édifices traditionnels présentent un élément architectural connu sous le nom de « *Rowshan* ». Celui-ci est caractéristique de la région de Djeddah et permet de maintenir un niveau satisfaisant de confort physique et social. Les études et observations précédentes montrent que le rowshan, un élément architectural fréquemment utilisé dans les bâtiments traditionnels, a une réelle influence positive sur le confort des résidents. Par conséquent, ceci a été minutieusement étudié à travers l'utilisation d'outils et de logiciels numériques tridimensionnels afin de créer une simulation de sa performance et de son influence sur les espaces habités.

Pour la mise en place de cette expérience, nous avons construit un espace virtuel à l'aide de Revit. L'espace mesure 4 mètres de profondeur, 4 mètres de largeur et 4 de hauteur, ayant

une fenêtre orientée vers le nord (2.5 sur 2.2 mètres) située à une hauteur de 0.4 mètres du sol. Les murs intérieurs sont clairs, le plafond est recouvert de lamelles en bois clair, et le sol est recouvert de moquette claire. Les cinq scénarios ont été conçus dans le but d'évaluer l'efficacité des fenêtres dans les demeures traditionnelles et contemporaines : rowshan avec des stores fermés et ouverts, vitrage simple, vitrage double avec air et avec argon. Afin de prendre en considération les facteurs climatiques, l'espace virtuel a été imaginé à Djeddah. De plus, il a été conçu sans bâtiments autour de lui pour éliminer les effets urbains et obtenir des résultats qui mettent en exergue les effets des façades sur l'efficacité des bâtiments. Ensuite, le modèle a été analysé à travers Autodesk Ecotect.

Les trois types de vitrage permettent des niveaux d'éclairage relativement similaires ; le vitrage double avec argon permet le moins d'éclairage tandis que le niveau le plus élevé a été enregistré dans le modèle avec vitrage simple. Cependant, d'une façon logique, le niveau diminue à fur et à mesure que la lumière pénètre plus loin dans l'espace.

Le niveau le plus bas parmi tous les cas étudiés a été enregistré dans les bâtiments comprenant rowshan et des stores persiennes fermées, et le rowshan ouvert donne des résultats en dessous des modèles avec vitrages, mais ces résultats paraissent plus adaptés en raison du fort risque d'éblouissement sous ces latitudes. Il est important de mentionner que les surfaces horizontales du système rowshan, situés à différents niveaux d'élévation, agissent comme des réflecteurs de lumière et permettent aux rayons de soleil de pénétrer plus loin dans l'espace.

Afin de poursuivre l'étude de l'efficacité du système Rowshan dans la préservation de l'énergie, un scénario supplémentaire a été conçu. Dans ce but nous avons réalisé une simulation de rayonnement solaire, après avoir libéré l'espace de toute protection ou élément annexe. En orientant l'espace vers toutes les directions (nord, sud, est et ouest), nous avons pu montrer la quantité d'énergie présente dans l'espace et la capacité des façades à réduire le niveau d'énergie solaire. L'étude a prouvé que tous les éléments utilisés peuvent réduire la quantité d'énergie. Cependant, pour l'ensemble des types de vitrage, les résultats montrent que la majorité des rayons du soleil pénètrent quand même dans l'espace. En outre, le système Rowshan réduit considérablement la quantité d'énergie quand

les stores persiennes sont ouvertes et l'élimine presque entièrement lorsque les stores sont fermés.

Cette comparaison entre les façades traditionnelles et contemporaines met en évidence les nombreux avantages du système Rowshan au détriment des systèmes de vitrage. Le modèle rowshan est très efficace car il permet l'éclairage naturel tout en réduisant l'énergie enregistrée dans un espace, une qualité qui n'a pas été trouvée dans les autres systèmes étudiés. L'efficacité du système rowshan dans la réduction de l'énergie surpasse largement celle d'autres systèmes contemporains testés, quelle que soit l'orientation des fenêtres. Ce système traditionnel offre également une solution pour l'ouverture de la façade ouest, avec une réduction d'environ 66% de la consommation d'énergie et l'absorption de l'humidité grâce à l'utilisation du bois qui rend l'air plus frais et moins humide. Quant à la façade sud, qui est la plus exposée à la lumière directe du soleil, l'élément horizontal du modèle rowshan agit comme un dispositif de protection réduisant la quantité d'énergie solaire de 83%. De surcroît, il permet de contrôler la quantité de lumière présente dans l'espace à l'aide des stores persiennes.

En complément, une autre campagne de mesures, beaucoup plus courte a aussi été effectuée pendant 48h afin d'évaluer les performances du rowshan ouvert et fermé en termes de température intérieure et d'éclairement naturel. Il en ressort qu'un rowshan fermé apporte une certaine stabilité des paramètres de confort mais une température assez élevée et un éclairage très faible. En comparaison, le rowshan ouvert offre des variations de températures plus grandes mais dans la valeur minimale est plus basse que quand le rowshan est fermé, probablement grâce à l'effet de ventilation produit. L'éclairement naturel était aussi très bon comparé au cas où les persiennes sont fermées. L'humidité quant à elle dépasse facilement les 75% d'humidité relative le soir, ce qui aide au rafraîchissement par la ventilation par l'absorption de l'humidité par le bois constituant le rowshan. On peut en conclure qu'il existe de grandes possibilités de gestion des paramètres d'ambiances avec ce dispositif tant les différences sont flagrantes entre un rowshan ouvert et un autre fermé.

## 7-2 Conclusion

Les trois aspects clés de ce travail de recherche (l'analyse par questionnaire utilisant le système POE, l'étude des espaces spécifiques dans les demeures de Djeddah, la simulation comparant les secteurs ancien et contemporain ainsi que les façades des bâtiments dans les zones respectives) ont permis de mieux comprendre les enjeux actuels de l'architecture du pays et d'envisager des solutions. Il est évident que le confort social est très important dans la culture de l'Arabie Saoudite, le confort physique, y compris visuel, étant souvent sacrifié au bénéfice de l'intimité. Les nouveaux bâtiments sont dotés de hauts murs et de protections supplémentaires afin de maintenir un niveau optimal d'intimité, tandis que les maisons traditionnelles font appel à l'élément architectural rowshan dans le même but. Non seulement il assure l'intimité, mais il représente aussi un élément caractéristique de la région. Etant donné que le confort physique dépend largement de la consommation d'énergie, ce sont les maisons traditionnelles qui offrent une solution plus en accord avec les principes du développement durable. Dans les zones résidentielles, les rues sont larges et asphaltées, gardant davantage la chaleur par rapport aux ruelles du secteur ancien, qui sont naturellement ventilées et à l'abri du soleil. Les rues étroites de la vieille ville permettent de capturer la brise marine, de mettre à l'abri du soleil les façades des bâtiments comme la zone entière, réduisant ainsi la quantité d'énergie. Concernant les logements, nous avons conclu que les façades les plus désirables sont celles orientées vers le nord, car elles réduisent le plus le niveau d'énergie présent à l'intérieur du bâtiment. De plus, les façades ouest ou nord-ouest sont les plus optimales en ce qui concerne la ventilation. Cependant, il faut tenir compte des risques d'éblouissement et d'humidité élevée lorsqu'on choisit ce type d'orientation. Pour cette raison, certains nouveaux logements sont dotés de volets.

Le système rowshan permet d'éviter ces problèmes dans les demeures traditionnelles ; ses paravents en bois perforé filtrent les rayons du soleil et absorbent l'humidité permettant aux résidents de profiter de la brise marine. De plus, les stores persiennes des maisons du type rowshan permettent aux résidents de contrôler la quantité de lumière et d'éviter l'éblouissement. Une découverte intéressante qui mérite notre attention est la relation négative entre le confort physique et social dans les demeures contemporaines. Sans système de climatisation, la plupart des maisons à Djeddah seraient pratiquement

invivables. Les résultats de l'étude POE comme de l'analyse quantitative ont montré l'existence de cette relation négative entre le confort physique et social dans les logements contemporains. Cependant, une des villas concernées par l'étude de terrain fait exception à cette observation, créant une relation positive entre les deux notions. L'élément qui fait la différence entre ce cas et les autres est le fait que les confort social et physique ont été pris en considération dès les premières étapes de la conception du bâtiment.

Même si cette solution n'est pas aussi efficace que celle offerte par les maisons traditionnelles, elle montre une capacité à résoudre ce problème. Concernant les différents types de fenêtres, l'architecture traditionnelle assure un niveau plus élevé de confort physique et social par rapport aux logements contemporains avec vitrage simple ou double. Quant à l'éclairage, le dispositif du rowshan assure la présence de la lumière filtrée, créant des espaces très éclairés lorsque les stores persiennes sont ouvertes ou bien très sombres quand les stores sont fermés. Cela prouve l'efficacité de ce modèle en termes d'éclairage et de la satisfaction des résidents qui peuvent facilement contrôler la quantité de lumière présente dans leurs maisons. De plus, le dispositif du rowshan réduit considérablement la consommation d'énergie dans les logements, ce qui le rend très efficient. En fait, il assure un éclairage et une ventilation performante avec très peu d'énergie consommée. En outre, il est connu que les bâtiments comportant un rowshan ont été conçus dans un souci de préservation de l'intimité. De manière générale, la caractéristique de ces édifices est le fait que les résidents peuvent voir clairement l'extérieur sans que les personnes puissent regarder dans leurs maisons. Tous ces éléments prouvent une fois de plus que ce système appliqué à l'architecture contemporaine représente une alternative optimale sous l'aspect du confort physique et social.

Notre objectif est de chercher le confort dans les deux dimensions que nous avons étayé tout au long de cette thèse (socio-culturelle et climatique) tout cela au sein de logements pleinement adaptés au monde arabe et plus particulièrement pour les pays du Golfe. Pour ce faire, il est indispensable de créer et penser l'habitation selon 3 critères, qui sont le mode de vie, la mentalité et la réglementation.



Nous avons pu étudier le contexte et l'importance des 3 critères majeurs pour le cas de la ville de Djeddah et du Royaume de l'Arabie Saoudite mais la majorité des actions architecturales faites sont valables pour l'ensemble des Pays du Golfe.

Dans le cas des Pays du Golfe, l'élément majeur est le sujet de l'intimité visuelle plus que le confort dans leur logement, on peut donc conclure que dans notre cas c'est la dimension socio-culturelle qui prédomine sur les choix de conception architecturale de logements saoudiens, cette réflexion est pleinement adaptée pour tous les pays du Golfe.

Malgré cet avis des habitants et le fait essentiel que les architectes doivent respecter les modes de vie, le boom économique et la construction **trop rapide** des villes des pays du Golfe a amené les constructeurs à édifier des habitations marginales au regard de ce que l'habitant souhaiterait. Effectivement pour pallier à un besoin d'intimité visuelle, les architectures contemporaines bénéficient uniquement d'artifices tels que des stores obligatoirement fermés et des lumières artificielles. De plus la qualité de confort climatique est accessible non pas grâce à une conception architecturale pertinente mais une nouvelle fois grâce à des artifices tels que la climatisation.

L'architecture traditionnelle a la vertu d'être mieux adaptée au climat et au mode de vie mais elle ne peut pas être jugée comme architecture durable car à aujourd'hui ce type d'architecture a été définitivement abandonné.

Cependant, l'architecte se doit de mieux penser l'architecture contemporaine, prendre mieux considération des conceptions du passé et pourquoi pas construire un nouveau modèle d'architecture hybride prenant également en considération l'avancement technologique.

Il est intéressant d'observer l'évolution de l'architecture à travers cet exemple : la solution pour une architecture contemporaine se trouve dans l'architecture traditionnelle. Cela peut s'expliquer par un certain nombre de raisons, comme la compétition à l'intérieur du marché, le développement rapide, l'abondance de ressources d'énergie, l'absence de réglementations, etc. La notion d'architecte vu comme maître d'œuvre est remplacée par ce désir actuel de créer des bâtiments qui soient avant tout agréables sous l'aspect esthétique.

Cette tendance généralisée ne peut être éradiquée, mais il est possible de la contrôler à l'aide de réglementations. De cette manière, l'évolution de la construction en Arabie Saoudite pourrait prendre une autre direction par la création d'espaces de vie plus sains du point de vue visuel, matériel ou social. On devrait donc mettre en place un système de réglementation afin de créer des habitats améliorés.

Un tel système de réglementation ou de classement peut s'inspirer de l'Estidama, tout en étant adapté au territoire concerné. L'Estidama est un système de classement relativement nouveau, mis en place et partiellement lancé par le Conseil d'aménagement urbain d'Abu Dhabi en 2010. Ce système est similaire à d'autres outils de classement comme LEED ou BREEAM qui permettent d'attribuer des scores pour encourager la création d'espaces bâtis durables. Cet outil a été créé de la nécessité d'établir un système adapté au contexte et à la culture de l'Arabie Saoudite et à ses enjeux de développement durable.

Il est possible que les études futures continuent à chercher de nouvelles solutions pour améliorer le confort physique et social au lieu de se limiter à la réutilisation d'éléments traditionnels. Parmi les cas étudiés, une des maisons contemporaines montrait une tendance à répondre à cette difficulté, ce qui prouve un réel potentiel à trouver des solutions contemporaines pour les enjeux discutés.

Il est important de prendre en considération la responsabilité des architectes quant à la résolution de cette problématique. L'industrie s'écarte de son but initial et l'énergie devient la principale source de confort malgré la possibilité d'utiliser des ressources naturelles gratuites. L'enjeu peut sembler insignifiant aujourd'hui, mais de nombreuses études et recherches font référence aux conséquences dans le futur proche : réchauffement climatique, crise sanitaire, économie instable, inconfort social, différents types de pollution. Il faudrait donc agir à cet égard. À travers l'étude de l'architecture régionale traditionnelle, on pourrait imaginer une solution à ce défi, soit en adaptant l'architecture du passé aux besoins actuels, soit en concevant une réponse contemporaine originale. Ce mémoire est la première grande piste de recherche pour de futurs travaux afin d'implémenter les évaluations de performances énergétiques et de confort dès les premières phases de

conception de bâtiments et dans les systèmes de certifications comme LEED ou l'Estidama. Il est évident que des dispositions réglementées tel que la taxation d'édifices à forte consommation ou la mise en place d'aides pour les constructions plus respectueuses de l'environnement aiderait le pays à construire plus durable. L'objectif est de penser les projets d'architecture durable et d'imaginer la mise en place de dispositifs incitant à la construction respectueuse de l'environnement et de l'Homme. Pour cela, il est important de penser aux notions de confort dans l'habitat pour que cette architecture soit réellement durable (figure 7-5).



**Figure 7-5 : les principaux éléments de la recherche ; par l'auteur. Le confort est une condition sine qua non à la durabilité.**

L'architecte a une grande responsabilité au moment de la conception. Cependant, cette responsabilité est partagée avec les différents acteurs de la construction. Seul, l'architecte ne peut pas révolutionner les mentalités concernant les façons de concevoir et d'habiter, malgré sa position centrale dans le diagramme son rôle est forcément moteur. Le devoir primaire de l'architecte est de penser l'architecture dans son ensemble, dans son contexte et dans le temps, ce qui devient aujourd'hui mon devoir d'enseignant. Dans le cas de cette thèse, il est effectivement fondamental de penser une architecture durable afin qu'elle puisse vivre même si le contexte économique se transforme. Dans le cas où l'Arabie Saoudite ou tous les pays riches du Golfe se retrouveraient sans leur aisance financière (sans pétrole), est-ce que le pays, son architecture et ses habitants se retrouveraient à l'aise dans les conditions actuelles ?

La situation actuelle en Arabie Saoudite, en particulier au niveau de la conception des logements, ne prend pas en compte tous les paramètres et les éléments qui ont un impact

sur la conception. L'architecte ne peut pas piloter un projet de manière juste et cohérente sous tous les critères car certains prédominent largement les autres (voir figure 7-6).

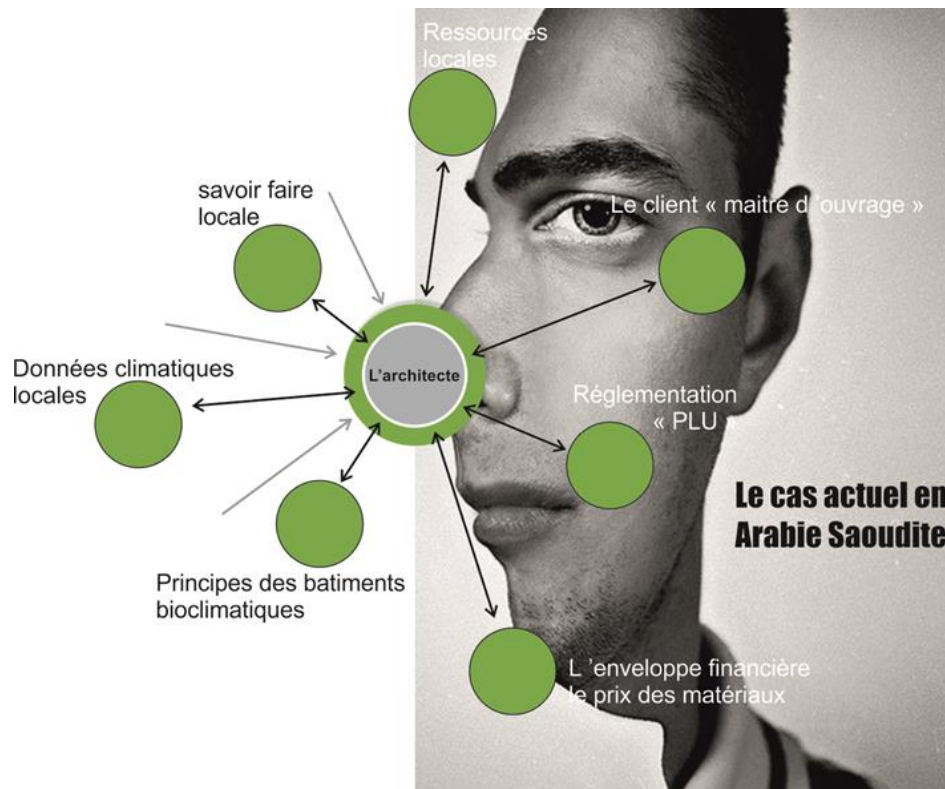


Figure 7-6: présente les éléments qui ont un impact sur la conception en Arabie Saoudite et qui affecte l'efficacité du projet, par l'auteur.

*« Pour conclure, je souhaite pouvoir voir l'architecture évoluer avec la technologie, la voir évoluer avec la culture de là où elle s'implante, qu'elle prenne conscience de son passé et qu'elle puisse devenir une science active déterminante pour le confort et les besoins de l'Homme » ; L'auteur.*

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

## A

**ABU-ALI** Naif. Sustainable development in traditional architecture of Saudi Arabia, Msc. Thesis (2011), p.41-46; (en Arabe).

**ABU-DAHIR** Mutib , Journal Riyad n° 16661 ; (Annual electricity consumption per person is three times the global average), a conference at King Abdullah City for Nuclear Energy by; ALBAWRDI (2014).

**ABU-GHAZZEH** Tawfiq M. Built Form and Religion: Underlying Structures of Jeddah Al Qademah, TDSR VOL. V NO. II (1994), p.49-55.

**ABU-LUGHOD** Janet. The Islamic City--Historic Myth, Islamic Essence, and Contemporary Relevance. Source: International Journal of Middle East Studies, Vol. 19, No. 2, Published by: Cambridge University Press. May (1987), p. 155-176.

**ADASS** Adnan. Conference : l'Architecture traditionnelle de la ville de Djeddah, (Juin 2013). (Adnan ADASS et une professeur en Architecture à King AbdulAziz University – Djeddah ; Arabie Saoudite (en Arabe).

**ADEEB** Salam. The dimensions of Sustainable Development, an article in Al-Hewar magazine. [<http://www.ahewar.org/debat/show.art.asp?aid=4305>] (2002), (en Arabe).

**AIDAROUS** The Conservation of Old Jeddah, Saudi Arabia: A technology-led construction analysis , the Case Study Nassif House. Dissertation submitted for Masters of Architecture MSc in Architectural Conservation. University of Edinburgh (SEP 2011).

**AKBAR** Jamil. Livre : Earth Architecture in Islam. 1st Edition : by, Dar Alqebila of Islamic Culture, Saudi Arabia (1992) 'son livre à retenu sur le prix de Aga KHAN' ; p. 26-31, 159-164, 349-354 440-441 (En Arabe).

**ALFIKI** Mohammed. Article : Les valeurs culturelles dans la Sunna (en Arabe) ; Troisième Symposium scientifique international de propos du prophète (2007). Diffusé par : Faculté des études arabo-islamique, Dubaï.

**ALNGARI** Khalid. Article : Les dimensions du développement urbain en Arabie Saoudite ;

Journal des sciences sociales,P.61. (1989) Diffusé par : Kuwait University.

**AL-LYALY** Sameer Mahmoud Z. The Traditional House of Jeddah: A Study of the Interaction Between Climate, Form and Living Patterns PH.D. Thesis, Department Of Architecture, University Of Edinburgh (september 1990), p.117.

**AL-SAYYAD** Nezar. Al Mudun fi Sadr al-Islam: The Early Cities of Islam. Beit Al-Quran: Bahrain (1996), p.52 (en Arabe).

**AL-SHAREEF**, Faisal Mohammed. Natural light Control in Hedjazi Architecture: An Investigation of the Roshan Performance by Computer Simulation. Thesis, University of Liverpool (1996), p.234,241.

**AL-SHAREEF**, Faisal, **OLDHAM**, D.J., & **CARTER**, D.J.,. A computer model for predicting the daylight performance of complex parallel shading systems. Building and Environment 36, (2001), [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), accès (2012), p.605-618.

**ALHARBI** Thamir. PhD Thesis : The Development of Housing In Jeddah : Changes in Built Form from the Traditional to the Modern, Thesis of Philosophy of Architecture. Newcastle University Library (1989), p.87-94.

**ALHATHLOUL** Saleh & **EDADN** N. Evolution of Settlement Pattern in Saudi Arabia: A Historical Analysis, Habitat International, vol.17 N°4 (1993).

**ALHATHLOUL** Saleh & **EDADN** N. Rationalizing Urban Growth: The case of The Saudi Cities. Paper presented at the conference for Arab Cities 9, Marrakesh, Morocco, vol.13 N°03 (1991).

**ALHATHLOUL** Saleh & **RAHMAN** A. Evolution of Urban and Regional Planning in Saudi Arabia, Ekistics (1989), p.206-212.

**ALHATHLOUL** Saleh, Tradition, Continuity and Change in the Physical Environment. Ph.D Dissertation, MIT Cambridge (1981),p.87.

**ALJOFI** E. International Conference (Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment), Santorini, Greece. Article « *The potentiality of reflected sunlight through Rawshan screens* », King Faisal University, Dammam (May 2005), p.817.

**ALKAMA** et **SELLEM**. Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec. Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°3 471 – 488 (2009).

**ALLEN** Edward. How Buildings Work ,The Natural Order of Architecture, Third Edition. Drawings by David Swoboda, Edward Allen, and Edward Allen, Publisher: Oxford University Press (2005), p.3-4, 7, 11-20, 25-32, 76, 252,254.

**ALLEN** John, **MASSEY** Doreen and **PRYKE** Michael. Unsettling cities Movement/Settlement (READING 1B Shirin **MADON**: 'Bangalore: internal disparities of a city caught up in the information age), Routledge (1999), p. x-xi,16-20, 23-26.

**ALTMAN** Irwin. The environment and social behavior: privacy, personal space, territory, crowding, Brooks/Cole Pub. Co. (1978), p. 219-223.

**ANDER** Gregg, Daylighting Performance and Design : (OCCUPANT PRODUCTIVITY, DAYLIGHTING DESIGN TOOLS). John Wiley & Sons (mai 2003) , p.8,58.

**ARNOLD** Chris. Building Systems Development Inc.Last updated: Article, [www.wbdg.org](http://www.wbdg.org) (THE WHOLE BUILDING DESIGN GUIDE) National Institute of building science (06-01-2009).

**ARONIN** J. E. Climate and Architecture. New York, Reinhold Publishing Corporation. He describes the science of Architecture: how macro and micro climate influences building design. He explains how interest in the relation between climate and architecture can be traced back to the time of Vitruvius (1953), Republished online: (14 DEC 2006), p. 1-3,81.

**ASKARY** Hossien. Land Reform in the Middle East. International Journal of Middle East Studies, vol.8. (1977), p.437 (en Arabe).

**AWADH** Omair ABUHIJLEH Omair. The Impact of External Shading and Windows' Glazing and Frame on Thermal Performance of Residential House in Abu-Dhabi 2013. SB Dubai 2013, Article (2013), paper no.9.



**AZZOUZ** Hatim. Article : Saving the Black Gold (Saudi Arabia) , (2013)  
<http://academy.autodesk.com/library>.

## B

**BANE** Juliet Lita, **CHAPIN** Mildred Ruth, Introduction to Home Economics, Éditeur : Houghton Mifflin, 1945 Original provenant de : l'Université de Californie, *Numérisé* : (12 déc. 2007), p. 165.

**BARNES**, M., **BUTT**, S. and **TOMASZEWSKI**, W. The Duration of Bad Housing and Children's Well-being in Britain. Housing Studies. Routledge, Vol. 26, No. 1 (2010), p 155-176.

**BARNET** Elizabeth. A Definition of (Social Environment). American Journal of Public Health. Research, vol 91, no.3 (2001), p.465.

**BARTUSKA** Tom J. Introduction: Definition, Design, and Development of the Built Environment. The Built Environment: A Collaborative Inquiry Into Design and Planning, 2nd Edition. Livre publié par, Wiley (2007), p.5.

**BATTERJEE** Sara Adel. Performance of Shading Device Inspired by Traditional Hejazi Houses in Jeddah Saudi Arabia.. Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of MSc in Environmental Design of Buildings (August 2010), p.121-123, 174.

**BEN SALEH** Mohammed. Privacy and Communal Socialization: The Role of Space in the Security of Traditional and Contemporary Neighborhoods in Saudi Arabia. HABITAT INTL. Vol.21, No 2, ElsevierScience Ltd. (1997) p. 167-184.

**BOKHARY** Abdullah Yahya. Conservation in the Historic District of Jeddah. In Adaptive Reuse: Integrating Traditional Areas into the Modern Urban Fabric. Margaret Bentley Sevcenko, (ed). Cambridge, Mass.: MIT Laboratory of Architecture and Planning (1983), p.60.

**BOUGDAH** Hocine, **SHARPLES** Stephen and **ZUNDE** Joan. Environment, Technology and Sustainability (Architecture Bioclimatic). By Routledge, (2010) vol.2, p.7-10,241.

**BOUHDIBA A. ET CHEVALLIER D.**, La Ville arabe dans l'islam. Hames Constant, Archives des sciences sociales des religions, Volume 60, Numéro 2 (1985), p.230 – 231.

**BOURGEOIS D., REINHART C.F., WARD G.** A STANDARD DAYLIGHT COEFFICIENT MODEL FOR DYNAMIC DAYLIGHTING SIMULATIONS. Article (2011), p.17.

**BOUTAUD Aurélien**, Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ?, École Supérieure des Mines de Saint-Étienne (thèse de Science et Génie de l'environnement), Saint-Étienne (2005), p.75-84.

**BRIGGS Martin Shaw.** Muhammadan architecture in Egypt and Palestine, Da Capo Press, Incorporated, 1924. Original provenant del'Université de Virginie (Numérisé 13 avril 2010), p.102.

## C

**CHAPPELLES Heather ET SHOVE Elizabeth.** COMFORT: A review of philosophies and paradigms (March 2004), p. 4-8, 14-20.

**CHARLOT-VALDIEU Catherine et OUTREQUIN Philippe**, L'urbanisme durable : Concevoir un éco quartier (Du développement au développement durable, Le développement durable à l'échelle de la ville). Le Moniteur (Février 2009), p.19-21.

**CHASSANDE Pierre.** Développement durable. : Pourquoi ? Comment ? « *Satisfaire les besoins de développement des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs besoins* » ; Livre en français(2002).

**CIA WORLD FACTBOOK.**[//www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/sa.html]. 2013.

**CITHERLET S.** Towards the Holistic Assessment of Building Performance Based on an Integrated Simulation Approach. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology (2001), p.5.

## D

**DEMCHAK**, Gregory. Towards a Post-industrial Architecture: Design and Construction of Houses for the Information Age. MSc thesis in Architecture studies at the Massachusetts Institute of Technology (2000), p.9,11.

**DEQUIN** H. The Challenge of Saudi Arabia: The regional setting and economic development as a result of the conquest of the Arabian peninsula by King Abdulaziz Al Saud. Published by : Eurasia Press, Singapore (January 1976), p.133.

**DEROISY & DENEYER**. Daylight and Solar Access at Urban Scale: A Methodology and its Application to a High Density Development in Brussels. Article, CIE Paris x038 (2013), p.800-808.

**DIKMEN**, Neşe. A Provision Model and Design Guidelines for Permanent Post-Disaster Housing in Rural Areas of Turkey Based on An Analysis of Reconstruction Projects inÇankiri. A Phd Thesis Submitted to The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University (2005), p.12.

**DUBOIS** Marie-Claude 2001 (Impact of Solar Shading Devices on Daylight Quality, Measurements in Experimental Office Rooms), Department of Construction and Architecture, Division of Energy and Building Design. Lund University, Lund Institute of Technology, Lund (2001), p.14.

## E

**ECOLE D'AVIGNON**. La manuel de réhabilitation du centre ancien de Jeddah, conclusion d'une première phase de travail pour le compte de la Ville de Jeddah (2006), p.20-22.

**EISENSTADT & SHACHAR**, Society, Culture and Urbanization, Sage Publication (the authors present a new macrosocietal and comparative theoretical approach). Newbury Park (1987); p.203-206.

**El Hozayen** Ahmed. Le traitement des espaces urbains dans les villes au climat chaud et sec pour diminuer leurs problèmes climatiques. Étude de cas : la ville du Caire. Agricultural sciences. 2013.

**EMERY** Ashley. Human Comfort and Health Requirements. [http://courses.washington.edu/me333afe/Comfort\\_Health.pdf](http://courses.washington.edu/me333afe/Comfort_Health.pdf), 1986- updated in 2005. Accès (2012), p.7.

## F

**FATHY** Hassan, Natural Energy and Vernacular Architecture, Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates. The University of Chicago Press, Chicago 60637. Edited by Walter **SHEARER** and Abd-el-rahman Ahmed **SULTAN** (1986), p.39-41, 77.

**FEKI** Mohammed. Pillars of sustainable development and protecting the environment in the Sunnah. International Scientific Symposium of cultural values in the Sunnah (2005), p.126 (en arabe).

**FILETÓTH** L.I. Daylighting Design Tool for Architects. Budapest University of Technology and Economics. Article, CIE Paris x038 (2013), p.810.

**FRISBIE** William. Urban Development in Saudi Arabia, the opportunities and challenges (Saudi Arabia urbanization experience in a comparative perspective). Edited by : ALHATHLOUL & EDADN (2001), p.317-361 (en Arabe).

**FRONTCZAK** M. ET **SCHIAVON** S. Quantitative relationships between occupant satisfaction and satisfaction aspects of indoor environmental quality and building design. Center for the Built Environment, UC Berkeley (2012), p.117-119.

**FUJIWARA** Daniel. The Social Impact of Housing Providers : (Life satisfaction, happiness and housing), report HACT (2013), p.7-8, 26.

## G

**GIVONI** Baruch, Man Climate and Architecture : « *Architecture is a border between man and his environment* ». Routledge (1976), p.220.

**GIVONI** Baruch. Climate Considerations in Building and Urban Design : Chapters (Comfort Issues and Climate Analysis for Building Design, Architectural Features Affecting the Indoor Climate). John Wiley & Sons (January 1998), p.49-53.

**GIVONI** Baruch. Passive Low Energy Cooling of Buildings : chapters (Minimizing Cooling Needs by Building Design, Ventilative Cooling). John Wiley & Sons (July 1994), p.21-24, 28-32.

**GONZÁLEZ** Neila, Neila. Arquitectura bioclimatica en un entorno sostenible, Livre en Espagnole (2004), p.288-293.

**GOODLAND** Robert. The Concept of Environmental Sustainability (Living Space). Reviewed work. Source: Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 26 (1995), p. 1-24.

## H

**HAI HUSSEIN** Muhannad. Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens, (La cour: contribution environnementale et socioculturelle), Thèse. L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 1 (2012), p.177-179.

**HAKIM** B. Arabic Islamic Cities : Building and urban planning Principles, Kegan Paul International, London (1986), p. 66-69.

**HEUI** Cho ET **LEE** Tae Kyung. Indoor Environment Quality related on Residential Satisfaction in Old Multi-Family Housing. SHB - 3rd International Symposium on Sustainable Healthy Buildings; Seoul, Korea (27 May 2010), p.292.

**I**

**IDRIS**, M. Privacy: meaning and concept in shaping the architectural space in the residential environment. Journal of King Saud University (Arch. &Plan.) vol.7 (1995).

**IZARD** Jean-Louis Architecture D'été. Construire Pour Le Confort D'été, EDISUD ; Livre (1993), p.7,24.

**J**

**JEDDAH STRATEGIC PLAN**, by Jeddah Municipality. 3 Books (2007), p.12-15, 32, 71-77.

**JOHNSEN ET WATKINS**. Daylight in Buildings ECBCS Annex 29 / SHC Task 21. Project Summary Report. Based on Articles (2010), p.17.

**JUNGSOO** Kim & **DE DEAR** Richard. How does occupant perception on specific IEQ factors affect overall satisfaction? . Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, London (April 2012), p.2, 8.

**K**

**KHALIL** Natasha & **HUSIN** Husrul Nizam. Post Occupancy Evaluation towards Indoor Environment Improvement in Malaysia's Office Buildings. Journal of Sustainable Development, Vol.2 (March 2009), p.186.

**KING** Geoffrey. The Traditional Architecture of Saudi Arabia. I.B. Tauris Publishers, London, New York (1998), p.17-28, 209-211.

**KOCH** Nielsen, Holger. Stay cool: a design guide for the built environment in hot climates. London, James & James, (Science Publishers) Ltd. (Septembre 2002), p. 36, 158-160.

**KARAMATA** Boris, **GIOVANNINI** Luigi, **LO VERSO** Valerio & **ANDERSEN** Marilyne. Article : Concept, Design and Performance of a Shape Variable Mashrabiya as a Shading and Daylighting System for Arid Climates ; PLEA Ahmed Abad (2014).

## L

**LA BANQUE MONDIALE**, Émissions de CO2 (tonnes métriques par habitant) : <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EN.ATM.CO2E.PC>. (Accès 2013).

**LAI** A.C.K. ET **WONG**, **MUI**, K.W., **WONG**, L.T. and Law, L.Y. An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings, Energy Build (2009), p. 930-936.

**LAPIDUS** M. Muslim Cities in the later Middle Ages. Cambridge, Mass. Harvard University Press (1967), p.123.

**LEED-NC 2.2**, for New Construction & Major Renovations, (October 2005), p.iv.

**LENCH** Edward. Urban Development in Saudi Arabia, the opportunities and challenges (Experiences of urban planning), (2001), p. 365-389.

**LI** D. & **TSANG** E. An analysis of measured and simulated daylight illuminance and lighting saving in daylight corridor. Journal of Building and Environment (2005), p. 973-982. Available from: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). [Accessed March 2014], (2005).

**LIEBARD** Alain & **DE HERDE** André. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable. Le Moniteur (mars 2006), p. 91a-91b, 131b, 160a-160b.

## M

**MANIBHAI** Prajapati Jayeshkumar, Thermal Comfort Techniques for Urban Poor's Housing : Meaning of thermal comfort, International Journal of Research in Modern Engineering and Emerging Technology Vol. 1, Issue: 4, (May, 2013).

**MARANS** R.W. ET **YAN** X. Lighting Quality and Environmental Satisfaction in Open and Enclosed Offices, J Architect Plan Research 6 (1989), p. 118-131.

**MARSH** Andrew. Non-Uniformity in Incident Solar Radiation over the Facades of High Rise Buildings Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 19 - 22 September (2004), p. 4-5.

**MARTINEZ** Maria Pilar Solis, BIOCLIMATIC ARCHITECTURE, 7th semester dissertation. VIA UNIVERSITY COLLEGE, Horsens Campus, DENMARK (2012). P.6.

**MATHEW** Robert. Study of historical City of Jeddah, Consultants : Robert Mathew, Johnson et Marshal by The Ministry of Municipal and Rural Affairs, Saudi Arbaia (1981). P.16-18.

**MAZRIA** Edward, Le guide de la maison solaire : ( les moyens de réussir un projet de construction verte) Parenthèses (2005). P.16.

**MEUNIER** Virginie, **Musy** Marjorie & **WOLOSZYN** Philippe. Article : From Draft to Sonic, Luminous, Thermal and Ventilation Optimization of a Multicriterion Envelope ; PLEA Santiago – CHILI (2003).

**MOLNAR** Daniella, **MORGAN** Alexis. Defining Sustainability, Sustainable Development and Sustainable Communities: A working paper for the Sustainable Toronto Project. (CIELAP, York University), (CEW/YCAS, University of Toronto), 2001.

**MONTESARCHIO** V., **RIDOLFI** E., **RUSSO** F., and **NAPOLITANO** F. Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Sapienza Universita di Roma, Rome, Italy. Rainfall threshold definition using an entropy decision approach and radar data. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., (2011).



**MOSER** Gabriel & **WEISS** Karine. Espaces de vie. Aspects de la relation homme-environnement : (le paragraphe de ALTMAN & SUNDSTROM). Armand Colin (11 mars 2003), p.85 (L'évaluation de l'environnement : La dimension temporelle ) .

**MOZAFFARIAN** Romina. Natural Ventilation in Buildings and the Tools for Analysis. Thesis, University of Florida. Master of Science In Building Construction (2009), p.16.

**MUBARAK** Faisal. Urban Development in Saudi Arabia, the opportunities and challenges (Role of the state in the formation of urban patterns) (1998), P.21-60.

**MUHAISEN** Ahmed & **ABED** Huda. Investigation of the Thermal Performance of Building Form in the Mediterranean Climate of the Gaza Strip IUG Journal of Natural and Engineering Studies Vol.21, No.1 (2013), p. 101-122

**MURTADA** Hisham, Islamic Architecture, Course, F.E.D. Architecture Department-King Abdulaziz University (2003), p.121.

## O

**OIKONOMOU** A. et **BOUGIATIOTI** F. Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece, Elsevier : Building and Environment, [[www.elsevier.com/locate/buildenv](http://www.elsevier.com/locate/buildenv) ] Article Accepted (25 September 2010), p.671.

**OLATUNDE** Adedayo Folaranmid, Housing Design & its Socio-Cultural Impact on The society: A case study of selected estates in Minna, Niger state, Nigeria. epartment of Architecture Federal University of Technology Minna. housing design and socio cultural impact, Article (2013), p.2-4.

**OLGYAY** Victor et **OLGYAY** Aladar. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural. The book Examines diverse solutions to the problems of shelter and provides insights into the effects of climate on human environment (January 1. 1963), p.27.

**OLIVER** Paul. Dwellings: The Vernacular House World Wide, Phaidon Press (May 1, 2007), p.136-139.

**ORBASLI** A. Journal of Architectural Conservation. The Conservation of Coral Building On Saudi Arabia Northern Red Sea Coast .Vol 5 (2009), p.61-64.

## P

**PESCE** Angelo. Jiddah Portrait of an Arabian City (Historical Background), by :Falcon Press (1974), p.101

**PRAKASH** Preethi, Effect of Indoor Environmental Quality on Occupant's Perception of Performance. MSc. Thesis. UNIVERSITY OF FLORIDA (2005), p.7.

**PELLEGRINO** Margot. Article : La consommation énergétique à Calcutta (Inde) : du confort thermique aux statuts sociaux; Article Volume 13 Numéro 1 (2013) <http://vertigo.revues.org/13395>.

**PREISER**, W. F. E., **RABINOWITS**, H. Z., & **WHITE**, E. T. *Post occupancy evaluation*. New York: Van Nostrand Reinhold Company CRS Sirine Houston (1988), p.278-281.

## R

**RAGETTE** Friedrich, Traditional Domestic Architecture of the Arab Region. Livre, Edition Axel Menges (2006). P.20-22, 75-91.

**RATTI** Carlo, **STEEMERS** Koen & **BAKER** Nick. Energy consumption and urban texture, Article in Press : Energy and Buildings. [www.elsevier.com/locate/enbuild](http://www.elsevier.com/locate/enbuild), Available at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). accepted 29 October 2004, Published (2005), p.10-13.

**RC HERITAGE**. THE HISTORICAL CITY OF JEDDAH, Nomination Document for the Inscription on the Unesco world Heritage List; January (2010), p.54.

**REDWEIK P., CATITA C. & BRITO.** 3D LOCAL SCALE SOLAR RADIATION MODEL BASED ON URBAN LIDAR DATA, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-4/W19, 2011 ISPRS Hannover (2011).

**REEDER Linda.** Guide to green building rating systems : understanding LEED, Green Globes, ENERGY STAR (Sustainable Rating System). Livre Publié par Wiley (2010), p.19.

**RUSSELL Ronald Cohn Jesse.** Mahoney tables [Paperback] : « *The Mahoney tables are a set of reference tables used in architecture, used as a guide to climate-appropriate design. They are named after architect Carl Mahoney* ». Bookvika Publishing. (Jan 2012), p.11, 37.

**RYBCZYNSKI Witold.** Home: A short history of an idea. Penguin Books (Rybczynski makes a plea for the primacy of cultural ideals as a basis for creating psychologically comfortable homes. Though he is selective in his history and examples, this is a worthwhile counterweight to the all-too-common technical practices of modern architects), (July 1987), p.41-42.

## S

**S.G.U.** Smart Growth Unit (laboratory). Al-Shafie House in Traditional City of Jeddah. (I'm a member in this laboratory). Book (2003), p.23-27.

**SAMUELS William.** Performance and Permeability. An investigation of the Mashrabiya for use within the Gibson Desert : A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for Master of Architecture. Victoria University of Wellington School of Architecture and Design (Feb. 2011), p.13, 19, 33-38.

**SEC SAUDI ARABIA.** Saudi Electricity Company – Contracting [www.se.com.sa/cservices/en/GENERAL\_PQ.aspx].

**SHEHATA Mohammed Abdulrahman Ahmed,** towards a sustainable building. Scientific research, College of Engineering and Islamic architecture. Umm Al Qura University (Mecca 2007),p.124 (en Arabe).

**SHERIF** Ahmed, **SABRY** Hanan et **RAKHA** Tarek. External perforated Solar Screens for daylighting in residential desert buildings: Identification of minimum perforation percentages. [www.elsevier.com/locate/solener], vol.86 (2012), p.1-3.

**STRANGE** Tracey and **BAYLEY** Anne. Sustainable Development, Linking economy, society, environment (What is Sustainable Development?). The Organisation for Economic Co-operation and Development OECD. Livre ( available in French under the title: Les essentiels de l'OCDE Le développement durable), (2009), p.29.

## T

**TAKKI** Tarja et **VIRTA** Maija A Systematic Method for Improving Indoor Environment Quality through Occupant Satisfaction Surveys, Proceedings of Climate Wellbeing Indoors, Article (2007), p.1-4.

**TELMISANI** Abdullah. Urban Development in Saudi Arabia, the opportunities and challenges. (Urban Structure pattern of spatial distribution of housing in the city Arabia). Edited by : ALHATHLOUL & EDADN (1998), p. 219-262 (en Arabe).

**TELMISANI** Abdullah. Exploration into Urban Structure and the Impact of Housing Construction Subsidies on Residential Location: The case of Riyadh, Saudi Arabia, Ph.D Dissertation, University of California, Berkeley (1989), p.93-94.

**TULBA** Mustafa, Arabic encyclopedia of knowledge for sustainable development - Volume I (economic dimension) Publisher: Arab Scientific Publishers Beirut (2006), p.447 (en arabe).

## U

**UN HABITAT** : STATE OF THE WORLD'S CITIES 2012/2013 Prosperity of Cities (Re-thinking Urban Prosperity, Dimensions of City Prosperity), (2012), p.14-15.

**UN** The Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. Participatory Dialogue: Towards a Stable, Safe and Just Society for All (Social integration, peace and development). Report (2007), p. 27-38, 71-74.

**UN-HABITAT**. Sustainable Housing for Sustainable Cities: A Policy Framework for Developing Countries (Housing And Sustainability, Environmental Sustainability of Housing). First published in Nairobi in 2012 by UN-Habitat. United Nations Human Settlements Programme (2012), p.9, 26.

## V-W

**VISCHER J.** Post Occupancy Evaluation: A Multifaced Tool for Building Improvement. Federal Facilities Council. US: The National Academy Press. Chapter 3, (2002).

**WAHEEB** Sahl Abdullah. The University Press. Shading Design Guidelines and Reduction of Cooling using Different Glazing Rations and Shading Devices . Umm Al-Qura Univ. J. Eng.& Arch. Vol. 2, No.2, pp. 17-37. Journal (2010), p.19-22.

**WIKIPEDIA**. Concept de Psychologie: Effet Flynn, Individuation, Pyramide Des Besoins de Maslow, Identite, Locus de Controle, Dissonance Cognitive, Syndrom. University-Press.Org, (2013).

**WINCHIP**. Lighting environment. New York: Fairchild Publications, inc. (2005), p.61.

**www.worldpopulationstatistics.com** (la population devrait augmenter à l'avenir. Elle est susceptible d'atteindre 36,73 millions en 2030 et devrait atteindre 44,76 millions en 2060).

## ANNEXES

---

# Annexe 1

Cette partie concerne la qualité de l'air intérieur. En effet c'est un paramètre important quant au confort et à la santé des occupants. Une mauvaise qualité de l'air peut engendrer des inconforts mais aussi des maladies liées à cette mauvaise gestion.

Terme	Définition	Causes	Solution
Le Syndrome du Bâtiment Malsain (SBM)	Un état dans lequel au moins 20% des symptômes de la population n'apparaissent que plus de deux semaines après leur origine et la source de ces maladies ne peut plus être identifiée. Les symptômes peuvent inclure des maux de tête, fatigue, somnolence, et irritation du nez, des yeux, de la gorge et de la peau.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une mauvaise évaluation intérieure de la qualité des occupants</li> <li>- Des transporteurs de maladies et d'allergènes</li> <li>- Les matériaux des éléments de construction –</li> <li>- Les finitions, les CVC et COV.</li> <li>- Les données climatiques de l'environnement, de l'humidité, de l'air extérieur, de la combustion et des particules de poussière.</li> </ul>	Un meilleur design, de la ventilation. Un nettoyage complet du bâtiment. Modifier les éléments de construction problématiques. Identifier les polluants extérieurs et le résoudre.
Maladie Reliée au Bâtiment (BRI)	Les maladies dues aux polluants de construction identifiables spécifiques ou à un problème de qualité de l'air intérieur. Les symptômes comprennent la pneumopathie d'hypersensibilité, la fièvre de l'humidificateur, l'asthme allergique, la rhinite allergique, la tuberculose et les syndromes toxiques.	Des problèmes spécifiques dans les éléments de construction, le CVC, les matériaux de finition et/ou les occupants de l'immeuble.	Identifier et résoudre les problèmes spécifiques.
Sensibilité Chimique Multiple (SCM)	Elle est marquée par les sensibilités d'une personne à un certain nombre de produits chimiques, la plupart à l'état de traces. Les patients présentent des symptômes similaires à ceux des SBM.	Causé par l'exposition à des VOC ou présences chimiques dans l'air intérieur.	SCM est une situation récemment identifiée et de ce fait, aucune solution n'a encore été trouvée.
Les Composés Organiques Volatils (COV)	Les COV sont des composés contenant du carbone que l'on retrouve dans de nombreux éléments de construction et de produits ménagers. Dans n'importe quel environnement intérieur, il peut y avoir jusqu'à 100 COV présents à un moment donné.	Les COV, qui s'évaporent facilement à température ambiante et à des concentrations élevées, provoquent des réactions allergiques et des problèmes liés à la santé.	Les COV sont des composés contenant du carbone que l'on trouve dans de nombreux éléments de construction et de produits ménagers. Dans n'importe quel environnement intérieur, il peut y avoir jusqu'à 100 COV présents à un moment donné.
Les contaminants biologiques	Ils provoquent des allergies, l'asthme et des problèmes liés à la santé. Les contaminants biologiques comprennent le pollen, les acariens, les squames, les virus et les bactéries.	Un taux d'humidité élevé (supérieur à 50%) et des débits d'air insuffisants sont les principales causes qui favorisent la croissance et la propagation de ces contaminants.	Maintenir l'humidité relative à l'intérieur des niveaux de confort (30-50%) et assurer les échanges de ventilation et d'air suffisant dans le bâtiment. Un bon entretien et la routine de nettoyage sont à effectuer.
Les systèmes de Chauffage, Ventilation et air Conditionné (CVC)	Comme son nom l'indique, il est question du chauffage, de la ventilation, et de l'air conditionné dans le bâtiment. Il est prioritaire de fournir une bonne CVC pour avoir une bonne QEI.	Un design pauvre et l'installation d'un système CVC peut entraîner l'inconfort de la zone occupée. Il se peut alors que des contaminants biologiques s'étendent et grandissent dans la zone, ainsi qu'un SBS/BRI.	Maintenir la température entre 65° et 78° F, ainsi que l'humidité relative entre 30 et 50%. Assurer une installation propre, afin d'éviter l'accumulation de poussière et d'humidité. Réaliser une maintenance régulière.

Problèmes reliés à la qualité de l'environnement intérieur [Prakash, 2005] .

## Annexe 2

Cette partie concerne les critères d'évaluation du système de certification Nord Américain « LEED » (il en existe d'autres comme le BREEAM, HQE...) qui comporte une partie importante consacrée à la qualité de l'environnement intérieur (Indoor Environmental Quality).



## Tableau annexe 1 : Les catégories et crédits LEED-NC

Emplacement durable		14 points possibles
Préalable 1	Contrôle de l'érosion & de la sédimentation	Requis
Crédit 1	Choix de l'emplacement	1
Crédit 2	Densité de développement	1
Crédit 3	Réaménagement de terrains contaminés	1
Crédit 4.1	Transports alternatifs, Accès aux transports publics	1
Crédit 4.2	Transports alternatifs, Stockage pour bicyclettes et vestiaires	1
Crédit 4.3	Transports alternatifs, Véhicules à carburant alternatif	1
Crédit 4.4	Transports alternatifs, Capacité de stationnement et covoiturage	1
Crédit 5.1	Minimiser la perturbation du site, protéger ou restaurer les espaces	1
Crédit 5.2	Minimiser la perturbation du site, développement de l'empreinte	1
Crédit 6.1	Gestion des eaux pluviales, débit et quantité	1
Crédit 6.2	Gestion des eaux pluviales, traitement	1
Crédit 7.1	Paysage & Extérieur designés pour réduire les ilots de chaleur, sans toit	1
Crédit 7.2	Paysage & Extérieur designés pour réduire les ilots de chaleur, avec toit	1
Crédit 8	Réduction légère de la pollution	1

Efficacité de l'eau		5 points possibles
Crédit 1.1	Aménagement paysager économe en eau, réduit de 50%	1
Crédit 1.2	Aménagement paysager économe en eau, pas d'utilisation potable ou d'irrigation	1
Crédit 2	Technologies de traitement des eaux usées innovantes	1
Crédit 3.1	Réduction de l'utilisation de l'eau, 20% de réduction	1
Crédit 3.2	Réduction de l'utilisation de l'eau, 30% de réduction	1

Energie et Atmosphère		17 points possibles
Préalable 1	Mise en service de systèmes de construction fondamentaux	Requis
Préalable 2	Performance de l'énergie minimum	Requis
Préalable 3	Réduction des CFC dans les équipements HV AC & R	Requis
Crédit L1	Optimisation de la performance énergétique. 20% neuf / 10% existant	2
Crédit L2	Optimisation de la performance énergétique. 30% neuf / 20% existant	2
Crédit L3	Optimisation de la performance énergétique. 40% neuf / 30% existant	2
Crédit L4	Optimisation de la performance énergétique. 50% neuf / 40% existant	2
Crédit L5	Optimisation de la performance énergétique. 60% neuf / 50% existant	2
Crédit 2_1	Energie renouvelable, 5%	1
Crédit 22	Energie renouvelable, 10%	1
Crédit 23	Energie renouvelable, 20%	1

Crédit 3	Mises en service supplémentaires	1
Crédit 4	Appauvrissement de l'ozone	1
Crédit 5	Mesure et vérification	1
Crédit 6	Energie verte	1

Matériaux et Ressources		13 points possibles
Préalable 1	Collecte et entreposage des matériaux recyclables	Requis
Crédit 1.1	Réutilisation du bâtiment, conserver 75% de la coque existante	1
Crédit 1.2	Réutilisation du bâtiment, conserver 100% de la coque	1
Crédit 13	Réutilisation du bâtiment, maintenir 100% de coque et 50% de non-coque	1
Crédit 2.1	Gestion des déchets de construction, Détourner 50%	1
Crédit 2.2	Gestion des déchets de construction, Détourner 75%	1
Crédit 3.1	Réutilisation des ressources, spécifiez 5%	1
Crédit 3.2	Réutilisation des ressources Spécifiez 10%	1
Crédit 4.1	Contenu recyclé, 5% spécifié (post-consommation + 1/2 post-industriel)	1
Crédit 4.2	Contenu recyclé, 10% spécifié (post-consommation + 1/2 post-industriel)	1
Crédit 5.1	Matériaux Local/Régional, 20% fabriqué en local	1
Crédit 5.2	Matériaux locaux / régionaux, de 20% au-dessus, 50% récoltés sur place	1
Crédit 6	Matériaux rapidement renouvelables	1
Crédit 7	Bois certifié	1

Qualité de l'Environnement Intérieur		17 points possibles
Préalable 1	Performance de la QEI minimum	Requis
Préalable 2	Contrôle de la fumée de tabac environnementale (//ETS)	Requis
Crédit 1	Surveillance du Dioxyde de carbone (CO2)	1
Crédit 2	Efficacité de la ventilation	1
Crédit 3.1	Plan de gestion de la QEI, pendant la construction	1
Crédit 3.2	Plan de gestion de la QEI, avant l'occupation	1
Crédit 4.1	Matériaux à faible émission, Adhésifs et scellant	1
Crédit 4.2	Matériaux à faible émission, Peintures	1
Crédit 4.3	Matériaux à faible émission, Tapis	1
Crédit 4.4	Matériaux à faibles émissions, bois composite et fibres agricoles	1
Crédit 5	Contrôle de la source des intérieurs chimiques et des polluants	1
Crédit 6.1	Contrôle des systèmes, périphérique	1
Crédit 6.2	Contrôle des systèmes, non-périphérique	1
Crédit 7.1	Confort thermique, conforme à la norme ASHRAE 55-1992	1
Crédit 7.2	Confort thermique, système de surveillance permanente	1
Crédit 8.1	Lumière naturelle et vues, Lumière naturelle dans 75% des espaces	1
Crédit 8.2	Lumière naturelle et vues, vues pour 90% des espaces	1

Processus d’Innovation et de Design		5 points possibles
Crédit 1.1	L’innovation dans le Design: Fournir un titre spécifique	1
Crédit 1.2	L’innovation dans le Design: Fournir un titre spécifique	1
Crédit 1.3	L’innovation dans le Design: Fournir un titre spécifique	1
Crédit 1.4	L’innovation dans le Design: Fournir un titre spécifique	1
Crédit 2	LEEDTV professionnel accrédité	1
Total		69 points

Source: Du système d'évaluation écologique des bâtiments pour les nouvelles constructions et rénovations majeures (LEED-NC 2.1), 2005.

## Annexe 3

Cette partie des annexes est constituée du sondage (POE) utilisé majoritairement dans le chapitre 5. Toutes les questions posées aux habitants de Djeddah et les réponses y sont présentes (en français traduit de l'arabe).

*« L'évaluation qualitative de la performance des logements actuels grâce à l'analyse du questionnaire qui a été envoyé aux habitants de la région et qui porte sur l'étude des facteurs de confort physique et social dans le logement ».*

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : A 1/5

TYPE DE LOGEMENT		APPARTEMENT DANS UNE MAISON FAMILIALE	APPARTEMENT	TOTAL
Djeddah - Arabe Saoudite, Sondage 2012-2013, Relation entre l'habitat et le confort		80	136	216
1	Ancienneté de l'habitation	0-5 ans	16-20 ans	21-30 ans
		45	40	43
		21%	19%	20%
2	Orientation de la façade principale ( Fenêtre )	N	S	E
		117	55	96
		37%	18%	31%
3	Surface habitable	moins de 100m²	101-300 m²	301-500 m²
		20	99	20
		9%	46%	9%
4	Surface du terrain (si habitation sous forme de villa ou de duplex)	moins de 100m²	101-300 m²	301-500 m²
		0	0	0
		0%	0%	0%
5	Nombre de chambres à coucher	1	2	3
		24	62	80
		11%	29%	37%
6	Nombre d'espaces réservés au séjour	1	2	3
		145	53	12
		67%	25%	6%
7	Nombre d'espaces de réception	1	2	3
		82	105	23
		38%	49%	11%
8	Nombre de salles d'eau	1	2	3
		10	74	90
		5%	34%	42%
9	Moyenne d'heures passées chez soi hors des heures de sommeil	moins de 3 heures	3-6 heures	7-10 heures
		19	100	65
		9%	46%	30%
10	Système d'aération de l'habitation en été	ventilation naturelle	Climatisation	tous les deux
		0	186	30
		0%	86%	14%
11	Système d'aération de l'habitation en hiver	ventilation naturelle	Climatisation	tous les deux
		60	87	69
		28%	40%	32%
12	Présence de fumeurs dans l'enceinte de l'habitation	oui	non	
		73	143	
		34%	66%	
13	Présence ou non d'un système de climatisation	oui	non	
		216	0	
		100%	0%	

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : A 2/5

TYPE DE LOGEMENT		APPARTEMENT DANS UNE MAISON FAMILIALE		APPARTEMENT	TOTAL
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013: Relation entre l'habitat et le confort		80		136	216
14	Mise en place d'un système de climatisation	dans l'ensemble des espaces de l'habitation			
		159	dans les espaces principaux de l'habitation		
		74%	57		
15	Mode de climatisation		26%		
		climatisation centrale	climatisation type fenêtre	Climatiseur Split Mini Endoornes	Other
		16	121	79	0
16	Utilisation du système de climatisation	7%	56%	37%	0%
		1 (pas de tout)	2	3	4
		0	6	18	25
		0%	3%	8%	12%
17	Son émis par le système de climatisation	1 (aucun bruit)	2	3	4
		7	34	28	64
		3%	16%	13%	30%
		1	2	3	4
18	A l'extinction de la climatisation, l'habitation conserve sa fraîcheur	10	29	47	71
		5%	13%	22%	33%
		1 (insatisfaisante)	2	3	4
		74	60	68	8
19	Satisfaction quant au système de climatisation dans les espaces suivants : (salle de séjour)	34%	28%	31%	4%
		1 (insatisfaisante)	2	3	4
		105	49	46	8
		49%	23%	21%	4%
20	Satisfaction quant au système de climatisation dans les espaces suivants : (chambre à coucher)	1 (insatisfaisante)	2	3	4
		49	63	40	43
		23%	29%	19%	20%
		Froid	Frais	A peine frais	Neutre
21	Satisfaction quant au système de climatisation dans les espaces suivants : (cuisine)	5	13	43	111
		Froid	Frais	A peine frais	Neutre
		2%	6%	20%	51%
		Froid	Frais	A peine frais	Neutre
22	Température de l'habitation en hiver en l'absence d'utilisation du système de climatisation	0	0	0	23
		0%	0%	0%	11%
		1 (Très sec)	2	3	4
		4	7	33	63
23	Température de l'habitation en été en l'absence d'utilisation du système de climatisation	2%	3%	15%	29%
		Froid	Frais	A peine frais	Neutre
		0	0	0	23
		1 (Très sec)	2	3	4
24	Humidité de l'air dans l'habitation en été	6	26	68	79
		3%	12%	31%	37%
		1 (insatisfaisante)	2	3	4
		52	71	76	15
25	Humidité de l'air dans l'habitation en hiver	46%	62%	67%	13%
		Taux de satisfaction quant à la température interne dans les espaces suivants sans l'utilisation du système de climatisation pendant l'année (salle de séjour)			
		1 (insatisfaisante)	2	3	4
		5	13	43	111
26	Taux de satisfaction quant à la température interne dans les espaces suivants sans l'utilisation du système de climatisation pendant l'année (salle de séjour)	2%	13%	13%	2%
		1 (insatisfaisante)	2	3	4
		5	13	43	111
		2%	13%	13%	2%

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : A 3/5

TYPE DE LOGEMENT			APPARTEMENT DANS UNE MAISON FAMILIALE	APPARTEMENT	TOTAL									
Djeddah - Arabe Saoudite, Sondage 2012-2013, Relation entre l'habitat et le confort			80	136	216									
27	Taux de satisfaction quant à la température interne dans les espaces suivants sans l'utilisation du système de climatisation pendant l'année (chambre à coucher)	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		67	62	64	18	5								
		59%	54%	56%	16%	4%								
28	Taux de satisfaction quant à la température interne dans les espaces suivants sans l'utilisation du système de climatisation pendant l'année (cuisine)	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		67	54	68	27	0								
		59%	47%	60%	24%	0%								
29	Avez-vous déjà entendu parler des systèmes d'isolation thermique au niveau des murs extérieurs et des toits des habitations ?	Oui	Non											
		194	22											
		90%	10%											
30	Avez-vous mis en place des systèmes d'isolation thermique au niveau des murs extérieurs et des toits de votre habitation ?	Oui	Non	Aucune idée										
		39	86	91										
		16%	40%	42%										
31	Avez-vous mis en place des doubles vitrages	Oui	Non	Aucune idée										
		25	148	43										
		12%	69%	20%										
32	Avez-vous déjà entendu parler des ampoules basse consommation ?	Oui	Non											
		174	42											
		81%	19%											
33	Utilisez-vous des ampoules basse consommation dans votre habitation ?	Toutes les ampoules	Utilisation limitée	Jamais										
		39	101	76										
		18%	47%	35%										
34	Utilisez-vous les ampoules basse consommation pendant la journée ?	1 (Jamais)	2	3	4	5	6	7 (tout le temps)						
		8	33	51	44	35	21	24						
		4%	15%	24%	20%	16%	10%	11%						
35	Satisfaction de l'éclairage naturel dans: salle de séjour	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		30	50	72	54	10								
		14%	23%	33%	25%	5%								
36	Taux de satisfaction quant à l'éclairage naturel dans les espaces à l'intérieur de l'habitation (chambre à coucher)	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		25	37	88	52	14								
		12%	17%	41%	24%	6%								
37	Taux de satisfaction quant à l'éclairage naturel des espaces à l'intérieur de l'habitation (cuisine)	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		39	34	76	55	12								
		18%	16%	35%	25%	6%								
38	Quelle est le montant le plus élevé de votre facture d'électricité au cours de l'année ? (1 euro = 5 R.S.)	10-40 R.S	70-41 R.S	71-100 R.S	150-101 R.S	200-151 R.S	300-201 R.S	500-301 R.S	700-501 R.S	1000-701 R.S	1201-1400 R.S	plus de 1400 R.S	je ne sais pas	
		1	7	8	31	24	31	42	32	8	11	0	0	21
		0%	3%	4%	14%	11%	14%	19%	15%	4%	5%	0%	0%	10%

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : A 4/5

TYPE DE LOGEMENT		APPARTEMENT DANS UNE MAISON FAMILIALE	APPARTEMENT	TOTAL								
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013: Relation entre l'habitat et le confort		80	136	216								
39	Quelle est le montant le plus bas de votre facture d'électricité au cours de l'année ?	10-40 R.S	70-41 R.S	150-101 R.S	200-151 R.S	300-201 R.S	500-301 R.S	700-501 R.S	1000-701 R.S	1201-1400 R.S	plus de 1400 R.S	je ne sais pas
		6	32	62	28	21	16	4	0	0	0	21
		5%	28%	54%	25%	18%	14%	4%	0%	0%	0%	18%
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	6	7 (Satisfaisante)					
40	Taux de satisfaction générale quant à l'aération naturelle de l'habitation au cours de l'année	24	25	41	61	13	16					
		11%	12%	19%	28%	6%	7%					
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	6	7 (Satisfaisante)					
		29	36	53	58	11	8					
41	Taux de satisfaction quant au mouvement de l'air à l'intérieur des espaces de l'habitation	13%	17%	25%	27%	5%	4%					
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	6	7 (Satisfaisante)					
		17	37	46	59	14	13					
		8%	17%	21%	27%	6%	6%					
42	Taux de satisfaction quant à l'odeur de l'air dans l'habitation	13	28	61	63	21	6					
		6%	13%	28%	29%	10%	3%					
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	6	7 (Satisfaisante)					
		17	28	56	58	19	7					
43	Taux de satisfaction quant à la moyenne de l'humidité dans l'habitation	8%	13%	26%	27%	9%	3%					
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	6	7 (Satisfaisante)					
		14	36	53	57	26	11					
		6%	17%	25%	26%	12%	5%					
44	Taux de satisfaction quant au son émis par les systèmes de climatisation si mis en place	6	9	41	51	37	19					
		3%	4%	19%	24%	17%	9%					
		1 (je ne suis pas totalement d'accord)	2	3	4	6	7 (Satisfaisante)					
		2	3	13	29	36	111					
45	Taux de satisfaction générale quant à l'éclairage naturel de l'habitation au cours de l'année	1%	1%	6%	13%	17%	51%					
		1 (pas du tout sécurisée)	2	3	4	6	7 (complètement sécurisée)					
		3	21	26	31	62	30					
		1%	10%	12%	14%	29%	14%					
46	Taux de satisfaction quant à l'éclairage des ampoules de façon générale dans l'habitation	1	2	3	4	6	7 (Satisfaisante)					
		6	9	41	51	37	19					
		3%	4%	19%	24%	17%	9%					
		1 (je ne suis pas totalement d'accord)	2	3	4	6	7 (Satisfaisante)					
47	La température, l'éclairage, l'humidité et la qualité de l'air à l'intérieur sont des facteurs qui affectent le confort et la performance de l'habitation	1%	1%	6%	13%	17%	51%					
		1 (pas du tout sécurisée)	2	3	4	6	7 (complètement sécurisée)					
		3	21	26	31	62	30					
		1%	10%	12%	14%	29%	14%					
48	Comment évaluez-vous la sécurité de votre quartier ?	1	2	3	4	6	7					
		40	38,4	43,2	30,4	24	9,6					
		19%	18%	20%	14%	11%	4%					
		maison Propriété	logement social	maison Propriété (crédit)	emprunt-logement	location	location fournie par le travail					
49	Taux de satisfaction générale quant à l'intimité	78	0	5	0	7						
		36%	0%	2%	0%	3%						
		oui	non	je ne sais pas								
		46	136	34								
50	Modes de jouissance de l'habitation	21%	63%	16%								
		Avez-vous bénéficié du programme du Fond de développement immobilier dans la construction de votre habitation										



Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : A 5/5

TYPE DE LOGEMENT		APPARTEMENT DANS UNE MAISON FAMILIALE	APPARTEMENT	TOTAL					
Djeddah – Arabe Saoudite, Sondage 2012-2013 : Relation entre l'habitat et le confort		80	136	217					
52	Localisation de l'habitation	Près des services publics (centres commerciaux - Restaurants - etc)	Dans la même zone de travail	En dehors de la zone des services publics ( eau, drainage)					
		92	97	24	0	2			
		30%	31%	8%	0%	1%			
		oui	non						
53	Etes-vous la personne responsable de l'habitation (êtes vous propriétaire ou locataires)?	106	110						
		49%	51%						
		homme	femme						
54	Genre	146	70						
		68%	32%						
		20-15 ans	25-21 ans	35-28 ans	45-38 ans	55-48 ans	65-56 ans	75-66 ans	أكثر من 75 سنة
55	Age	12	48	78	46	24	7	1	0
		6%	22%	36%	21%	11%	3%	0%	0%
		étudiante	employé du secteur gouvernemental	employé du secteur militaire	employé du secteur privé	Homme d'affaires	retraité	au chômage	autre
56	Profession	34	60	11	65	19	11	16	0
		16%	28%	5%	30%	9%	5%	7%	0%
		1-2	3-4	5-6	9-10	11-15	plus de 15		
57	Nombre de membres de la famille dans l'habitation	36	103	51	26	0	0		
		17%	48%	24%	12%	0%	0%		
		nord	sud	ouest	est				
58	Les facades preferables de l'habitat	148	0	57	25				
		64%	0%	25%	11%				
		1	2	3	4	5	6	7	
59	Taux de satisfaction générale quant à l'inimité Visuelle	40	38.4	43.2	30.4	30.4	24	9.6	
		19%	18%	20%	14%	14%	11%	4%	

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : V 1/5

TYPE DE LOGEMENT		MAISON DETACHEE	PALAIS	TOTAL				
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013. Relation entre l'habitat et le confort								
1	Ancienneté de l'habitation	0-5 ans	6-10 ans	11-15 ans	16-20 ans	21-30 ans	plus de 30 ans	
		21	22	16	14	34	6	
		18%	20%	14%	13%	20%	6%	
2	Orientation de la façade principale ( Fenêtre )	N	S	E	O			
		71	42	40	62			
		33%	20%	19%	29%			
3	Surface habitable	moins de 100m²	101-300 m²	301-500 m²	501-700 m²	701-900 m²	plus de 900 m²	
		0	18	29	19	14	26	9
		0%	15%	25%	17%	12%	22%	8%
4	Surface du terrain (si habitation sous forme de villa ou de duplex)	moins de 100m²	101-300 m²	301-500 m²	501-700 m²	701-900 m²	plus de 900 m²	
		0	5	16	29	27	35	2
		0%	4%	14%	25%	24%	31%	1%
5	Nombre de chambres à coucher	1	2	3	4	5	6	7
		2	0	2	21	40	24	6
		1%	0%	1%	18%	35%	21%	6%
6	Nombre d'espaces réservés au séjour	1	2	3	4	plus de 4		
		18	34	37	13	6		
		15%	29%	32%	11%	6%		
7	Nombre d'espaces de réception	1	2	3	4	plus de 4		
		11	37	28	23	14		
		10%	32%	25%	20%	13%		
8	Nombre de salles d'eau	1	2	3	4	5	6	plus de 6
		0	3	5	6	18	11	70
		0%	3%	4%	6%	15%	10%	62%
9	Moyenne d'heures passées chez soi hors des heures de sommeil	moins de 3 heures	3-6 heures	7-10 heures	plus de 10 heures			
		8	46,4	41,6	17,6			
		7%	41%	36%	15%			
10	Système d'aération de l'habitation en été	ventilation naturelle	Climatisation	tous les deux				
		0	100	14				
		0%	88%	13%				
11	Système d'aération de l'habitation en hiver	ventilation naturelle	Climatisation	tous les deux				
		42	32	40				
		36%	26%	35%				
12	Présence de fumeurs dans l'enceinte de l'habitation	oui	non					
		53	61					
		46%	54%					
13	Présence ou non d'un système de climatisation	oui	non					
		113,6	0					
		100%	0%					

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : V 2/5

TYPE DE LOGEMENT			MAISON DETACHEE	PALAIS	TOTAL
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013: Relation entre l'habitat et le confort			108	6	114
14	Mise en place d'un système de climatisation	dans l'ensemble des espaces de l'habitation	dans les espaces principaux de l'habitation		
		100	14		
		88%	12%		
15	Mode de climatisation	climatisation centrale	climatisation type ventaire	Climatiseur Split Mini Endornes	Other
		32	24	52	6
		28%	21%	46%	5%
16	Utilisation du système de climatisation	1 (pas du tout)	2	3	4
		0	3	2	13
		0%	3%	1%	11%
17	Son émis par le système de climatisation	1 (aucun bruit)	2	3	4
		13	30	27	21
		11%	27%	24%	18%
18	A l'extinction de la climatisation, l'habitation conserve sa fraîcheur	1	2	3	4
		5	8	27	27
		4%	7%	24%	24%
19	Satisfaction quant au système de climatisation dans les espaces suivants : (salle de séjour)	1 (insatisfaisante)	2	3	4
		43	26	32	10
		38%	22%	28%	8%
20	Satisfaction quant au système de climatisation dans les espaces suivants : (chambre à coucher)	1 (insatisfaisante)	2	3	4
		66	22	16	6
		55%	20%	14%	6%
21	Satisfaction quant au système de climatisation dans les espaces suivants : (cuisine)	1 (insatisfaisante)	2	3	4
		27	32	29	16
		24%	28%	25%	14%
22	Température de l'habitation en hiver en l'absence d'utilisation du système de climatisation	Froid	Frais	A peine frais	Neutre
		2	11	10	50
		1%	10%	8%	44%
23	Température de l'habitation en été en l'absence d'utilisation du système de climatisation	Froid	Frais	A peine frais	Neutre
		14	10	6	11
		13%	8%	6%	10%
24	Humidité de l'air dans l'habitation en été	1 (Très sec)	2	3	4
		2	8	8	43
		1%	7%	7%	35%
25	Humidité de l'air dans l'habitation en hiver	1 (Très sec)	2	3	4
		8	16	21	43
		7%	14%	18%	35%
26	Taux de satisfaction quant à la température interne dans l'habitation pendant l'année (salle de séjour)	1 (insatisfaisante)	2	3	4
		25	28	39	16
		22%	25%	34%	14%

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : V 3/5

TYPE DE LOGEMENT		MAISON DETACHEE	PALAIS	TOTAL	
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013: Relation entre l'habitat et le confort		108	6	114	
27	Taux de satisfaction quant à la température interne dans les espaces suivants sans l'utilisation du système de climatisation pendant l'année (chambre à coucher)	1 (Insatisfaisante)	2	4	
		35	33	7	
		31%	29%	10%	
28	Taux de satisfaction quant à la température interne dans les espaces suivants sans l'utilisation du système de climatisation pendant l'année (cuisine)	1 (Insatisfaisante)	2	4	
		31	37	7	
		27%	27%	6%	
29	Avez-vous déjà entendu parler des systèmes d'isolation thermique au niveau des murs extérieurs et des toits des habitations ?	oui	non		
		106	8		
		93%	7%		
30	Avez-vous mis en place des systèmes d'isolation thermique au niveau des murs extérieurs et des toits de votre habitation ?	Oui	Non	Aucune idée	
		48	39	27	
		42%	34%	24%	
31	Avez-vous mis en place des doubles vitrages	Oui	Non	Aucune idée	
		38	57	19	
		33%	50%	17%	
32	Avez-vous déjà entendu parler des ampoules basse consommation ?	نعم	ي		
		98	16		
		86%	14%		
33	Utilisez-vous des ampoules basse consommation dans votre habitation ?	Toutes les ampoules	Utilisation limitée	Jamais	
		29	53	32	
		25%	46%	28%	
34	Utilisez-vous les ampoules basse consommation pendant la journée ?	1 (jamais)	2	3	
		22	30	26	
		20%	27%	10%	
35	Satisfaction de l'éclairage naturel dans: salle de séjour	1 (Insatisfaisante)	2	4	
		7	9	22	
		6%	8%	19%	
36	Taux de satisfaction quant à l'éclairage naturel dans les espaces à l'intérieur de l'habitation (chambre à coucher)	1 (Insatisfaisante)	2	4	
		11	3	26	
		10%	3%	23%	
37	Taux de satisfaction quant à l'éclairage naturel des espaces à l'intérieur de l'habitation (cuisine)	1 (Insatisfaisante)	2	4	
		8	15	19	
		7%	13%	17%	
38	Quelle est le montant le plus élevé de votre facture d'électricité au cours de l'année ? (1 euro = 5 R.S.)	10-40 R.S	70-41 R.S	150-101 R.S	
		0	0	0	
		0%	0%	0%	
				300-201 R.S	500-301 R.S
				8%	11%
				700-501 R.S	1000-701 R.S
				14	13
				1001-1200 R.S	18
				16%	10%
				plus de 1400 R.S	23
				20%	12
				je ne sais pas	11%

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : V 4/5

TYPE DE LOGEMENT		MAISON DETACHEE		PALAIS		TOTAL	
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013: Relation entre l'habitat et le confort		108		6		114	
39	Quelle est le montant le plus bas de votre facture d'électricité au cours de l'année ?	10-40 R.S	70-41 R.S	71- 100 R.S	150-101 R.S	200-151 R.S	300-201 R.S
		2	2	9	16	14	14
		1%	1%	8%	14%	12%	13%
40	Taux de satisfaction générale quant à l'aération naturelle de l'habitation au cours de l'année	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		10	12	11	19	34	12
		8%	11%	10%	17%	30%	11%
41	Taux de satisfaction quant au mouvement de l'air à l'intérieur des espaces de l'habitation	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		10	15	17	21	29	10
		8%	13%	15%	18%	25%	8%
42	Taux de satisfaction quant à l'odeur de l'air dans l'habitation	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		8	11	18	13	22	28
		7%	10%	15%	11%	19%	25%
43	Taux de satisfaction quant à la moyenne de l'humidité dans l'habitation	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		8	12	21	30	29	11
		7%	11%	18%	27%	25%	10%
44	Taux de satisfaction quant au son émis par les systèmes de climatisation si mis en place	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		6	3	17	24	18	29
		6%	3%	15%	21%	15%	25%
45	Taux de satisfaction générale quant à l'éclairage naturel de l'habitation au cours de l'année	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		5	3	7	22	16	35
		4%	3%	6%	20%	14%	31%
46	Taux de satisfaction quant à l'éclairage des ampoules de façon générale dans l'habitation	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		5	3	12	22	27	30
		4%	3%	11%	20%	24%	27%
47	La température, l'éclairage, l'humidité et la qualité de l'air à l'intérieur sont des facteurs qui affectent le confort et la performance à l'intérieur des espaces de l'habitation	1 (je ne suis pas totalement d'accord)	2	3	4	5	6
		2	0	5	13	15	17
		1%	0%	4%	11%	13%	15%
48	Comment évaluez-vous la sécurité de votre quartier ?	1 (pas du tout sécurisée)	2	3	4	5	6
		2	0	11	14	15	31
		1%	0%	10%	12%	13%	27%
49	Taux de satisfaction générale quant à l'intimité	1	2	3	4	5	6
		36	15	10	24	11	13
		32%	13%	9%	21%	10%	11%
50	Modes de jouissance de l'habitation	maison Propriété	logement social	maison Propriété (crédit)	emprunt-logement	location	location fournie par le travail
		96	0	9	3	6	0
		84%	0%	8%	3%	6%	0%
51	Avez-vous bénéficié du programme du Fond de développement immobilier dans la construction de votre habitation	oui	non	je ne sais pas			
		34	75	5			
		30%	65%	4%			

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : V 5/5

TYPE DE LOGEMENT		MAISON DETACHEE	PALAIS	TOTAL					
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013: Relation entre l'habitat et le confort		108	6	114					
52	Localisation de l'habitation	Près des services publics (centres commerciaux - Restaurants - etc)							
		Près des parents et la famille	Dans la même zone de travail	Dans un nouveau quartier résidentiel (en dehors de la ville)	En dehors de la zone des services publics ( eau, drainage)				
		59	41	13	5	7			
		29%	39%	6%	2%	3%			
53	Etes-vous la personne responsable de l'habitation (êtes vous propriétaire ou locataires)?	oui	non						
		61	53						
		54%	46%						
		homme	femme						
54	Genre	87	27						
		76%	24%						
		20-15 ans	25-21 ans	35-28 ans	45-36 ans	55-46 ans	65-56 ans	75-66 ans	اكثر من 75 سنة
		4	22	45	6	23	11	2	1
55	Age	4%	19%	39%	5%	20%	10%	2%	1%
		etudiante	employé du secteur gouvernemental	employé du secteur militaire	employé du secteur privé	Homme d'affaires	retraité	au chômage	autre
		35	21	4	16	21	8	9	0
		31%	18%	4%	14%	18%	7%	8%	0%
56	Profession	1-2	3-4	5-6	9-10	11-15	plus de 15		
		0	35	49	18	9	3		
		0%	31%	43%	16%	8%	3%		
		nord	sud	ouest	est				
57	Nombre de membres de la famille dans l'habitation	95	6	37	19				
		61%	4%	24%	12%				
		1	2	3	4	5	6	7	
		36	15	10	24	11	13	5	
58	Les facades preferables de l'habitat	32%	13%	9%	21%	10%	11%	4%	
59	Taux de satisfaction générale quant à l'intimité Visuelle								

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : D 1/5

TYPE DE LOGEMENT		DUPLEX ATTACHÉE		PENTHOUSE		TOTAL	
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013. Relation entre l'habitat et le confort		42		12		54	
1	Ancienneté de l'habitation	0-5 ans	6-10 ans	11-15 ans	16-20 ans	21-30 ans	plus de 30 ans
		17	13	5	3	8	8
		31%	24%	9%	6%	15%	15%
2	Orientation de la façade principale ( Fenêtre )	N	S	E	O		
		25	22	30	35		
		22%	20%	27%	31%		
3	Surface habitable	moins de 100m²	101-300 m²	301-500 m²	501-700 m²	701-900 m²	je ne sais pas
		2	16	18	5	2	2
		3%	30%	33%	9%	3%	21%
4	Surface du terrain (si habitation sous forme de villa ou de duplex)	moins de 100m²	101-300 m²	301-500 m²	501-700 m²	701-900 m²	je ne sais pas
		0	9	21	4	10	0
		0%	17%	39%	7%	19%	0%
5	Nombre de chambres à coucher	1	2	3	4	5	6
		3	0	19	11	8	11
		6%	0%	36%	21%	15%	21%
6	Nombre d'espaces réservés au séjour	1	2	3	4	plus de 4	
		19	22	8	3	2	
		36%	41%	15%	6%	3%	
7	Nombre d'espaces de réception	1	2	3	4	plus de 4	
		14	24	10	6	0	
		27%	44%	18%	12%	0%	
8	Nombre de salles d'eau	1	2	3	4	5	plus de 6
		0	5	5	13	16	10
		0%	9%	9%	24%	30%	18%
9	Moyenne d'heures passées chez soi hors des heures de sommeil	moins de 3 heures	3-6 heures	7-10 heures	plus de 10 heures		
		10	25	14	5		
		19%	46%	26%	9%		
10	Système d'aération de l'habitation en été	ventilation naturelle	Climatisation	tous les deux			
		0	43	11			
		0%	80%	21%			
11	Système d'aération de l'habitation en hiver	ventilation naturelle	Climatisation	tous les deux			
		21	11	22			
		39%	21%	41%			
12	Présence de fumeurs dans l'enceinte de l'habitation	oui	non				
		22	32				
		41%	59%				
13	Présence ou non d'un système de climatisation	oui	non				
		54	0				
		100%	0%				





Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : D 3/5

TYPE DE LOGEMENT		DUPLEX/ATTACHE	PENTHOUSE	TOTAL										
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013: Relation entre l'habitat et le confort		42	12	54										
27	Taux de satisfaction quant à la température interne dans les espaces suivants sans l'utilisation du système de climatisation pendant l'année (chambre à coucher)	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		16	14	17	5	2								
		30%	26%	31%	9%	4%								
28	Taux de satisfaction quant à la température interne dans les espaces suivants sans l'utilisation du système de climatisation pendant l'année (cuisine)	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		16	11	18	5	4								
		30%	20%	33%	9%	7%								
29	Avez-vous déjà entendu parler des systèmes d'isolation thermique au niveau des murs extérieurs et des toits des habitations ?	oui	non											
		50	4											
		92%	7%											
30	Avez-vous mis en place des systèmes d'isolation thermique au niveau des murs extérieurs et des toits de votre habitation ?	Oui	Non	Aucune idée										
		27	16	11										
		50%	30%	20%										
31	Avez-vous mis en place des doubles vitrages	Oui	Non	Aucune idée										
		26	23	4										
		48%	43%	7%										
32	Avez-vous déjà entendu parler des ampoules basse consommation ?	Oui	Non											
		51	3											
		94%	6%											
33	Utilisez-vous des ampoules basse consommation dans votre habitation ?	Toutes les ampoules	Utilisation limitée	Jamais										
		12	29	13										
		22%	54%	24%										
34	Utilisez-vous les ampoules basse consommation pendant la journée ?	1 (jamais)	2	3	4	5	6	7 (tout le temps)						
		8	6	13	13	5	3	6						
		15%	12%	24%	24%	9%	6%	11%						
35	Satisfaction de l'éclairage naturel dans: salle de séjour	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		6	7	17	15	9								
		12%	13%	31%	28%	17%								
36	Taux de satisfaction quant à l'éclairage naturel dans les espaces à l'intérieur de l'habitation (chambre à coucher)	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		6	10	16	15	7								
		11%	19%	30%	28%	13%								
37	Taux de satisfaction quant à l'éclairage naturel des espaces à l'intérieur de l'habitation (cuisine)	1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5 (Satisfaisante)								
		5	11	16	14	8								
		9%	20%	30%	27%	15%								
38	Quelle est le montant le plus élevé de votre facture d'électricité au cours de l'année ? (1 euro = 5 R.S)	10-40 R.S	70-41 R.S	71- 100 R.S	150-101 R.S	200-151 R.S	300-201 R.S	500-301 R.S	700-501 R.S	1000-701 R.S	1001-1200 R.S	1201-1400 R.S	plus de 1400 R.S	je ne sais pas
		0	0	2	0	3	8	2	11	14	6	3	0	5
		0%	0%	3%	0%	6%	15%	4%	20%	26%	11%	6%	0%	9%

Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : D 4/5

TYPE DE LOGEMENT		DUPLEX ATTACHÉE		PENTHOUSE		TOTAL	
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013 : Relation entre l'habitat et le confort		42		12		54	
39	Quelle est le montant le plus bas de votre facture d'électricité au cours de l'année ?	10-40 R.S	70-41 R.S	71-100 R.S	150-101 R.S	200-151 R.S	300-201 R.S
		2	2	11	5	3	6
		3%	3%	21%	9%	6%	11%
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
40	Taux de satisfaction générale quant à l'aération naturelle de l'habitation au cours de l'année	2	5	9	15	10	8
		4%	9%	17%	28%	19%	15%
		9%	9%	17%	28%	19%	15%
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
41	Taux de satisfaction quant au mouvement de l'air à l'intérieur des espaces de l'habitation	2	7	12	12	11	5
		4%	13%	22%	22%	20%	9%
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		7 (Satisfaisante)	7	11	5	6	
42	Taux de satisfaction quant à l'odeur de l'air dans l'habitation	2	2	9	17	11	7
		3%	3%	17%	31%	20%	13%
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		7 (Satisfaisante)	7	11	5	6	
43	Taux de satisfaction quant à la moyenne de l'humidité dans l'habitation	2	2	6	18	16	4
		3%	3%	12%	33%	30%	7%
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		7 (Satisfaisante)	7	11	5	6	
44	Taux de satisfaction quant au son émis par les systèmes de climatisation si mis en place	0	8	6	12	12	11
		0%	15%	12%	22%	22%	20%
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		7 (Satisfaisante)	7	11	5	6	
45	Taux de satisfaction générale quant à l'éclairage naturel de l'habitation au cours de l'année	2	5	5	16	6	11
		3%	9%	9%	30%	11%	21%
		1 (Insatisfaisante)	2	3	4	5	6
		7 (Satisfaisante)	7	11	5	6	
46	Taux de satisfaction quant à l'éclairage des ampoules de façon générale dans l'habitation	0	3	6	9	20	12
		0%	6%	11%	17%	37%	22%
		1 (Je ne suis pas totalement d'accord)	2	3	4	5	6
		7 (totalement d'accord)	7	11	5	6	
47	La température, l'éclairage, l'humidité et la qualité de l'air à l'intérieur sont des facteurs qui affectent le confort et la performance à l'intérieur des espaces de l'habitation	0	0	0	6	13	6
		0%	0%	0%	12%	24%	12%
		1 (pas du tout sécurisée)	2	3	4	5	6
		7 (complètement sécurisée)	7	11	5	6	
48	Comment évaluez-vous la sécurité de votre quartier ?	0	5	2	10	11	13
		0%	9%	3%	18%	20%	24%
		1	2	3	4	5	6
		7	11	5	6		
49	Taux de satisfaction générale quant à l'intimité	12,8	3,2	9,6	4,8	9,6	9,6
		24%	6%	18%	9%	18%	18%
		maison Propriété	logement social	maison Propriété (crédit)	emprunt-logement	location	location fournie par le travail
		30	2	8	2	11	2
50	Modes de jouissance de l'habitation	55%	3%	15%	3%	21%	3%
		oui	non	je ne sais pas			
		8	39	7			
		15%	72%	13%			
51	Avez-vous bénéficié du programme du Fond de développement immobilier dans la construction de votre habitation						

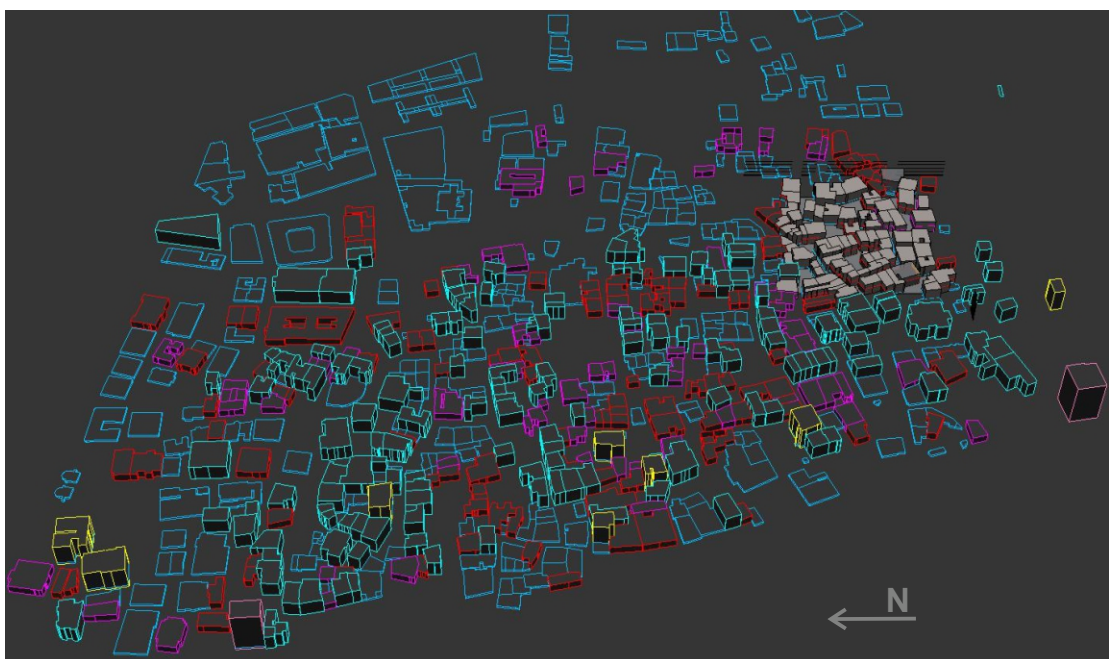
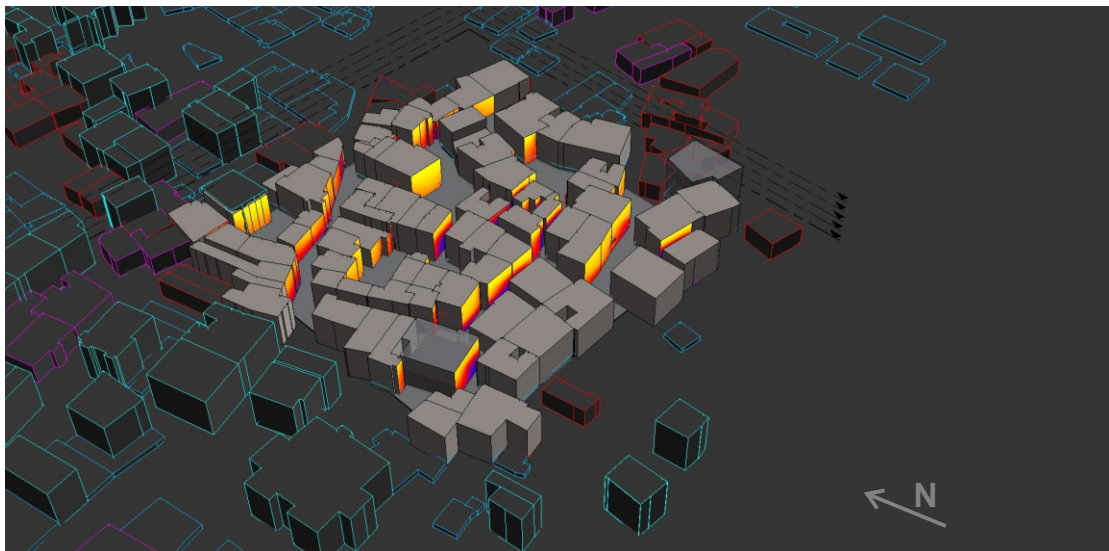
Type de logement : DUPLEXE ATTACHÉE - Ville de Djeddah 2012-2013  
TABLEAU : D 5/5

TYPE DE LOGEMENT		DUPLEX ATTACHÉ	PENTHOUSE	TOTAL
Djeddah - Arabie Saoudite, Sondage 2012-2013, Relation entre l'habitat et le confort				
52	Localisation de l'habitation	Prix des parents et la famille	dans la ville	54
		Prix des services publics (centres commerciaux - Restaurants - etc)		
		26	14	
		48%	26%	
		61%	4%	
53	Etes-vous la personne responsable de l'habitation (êtes vous propriétaire ou locataires)?	oui	dans la même zone de travail	13%
		32		
		59%		
54	Genre	homme	28%	7
		41		
		76%		
55	Age	20-15 ans	45-36 ans	65-56 ans
		3		
		8		
		15%		
		35%		
56	Profession	employé du secteur gouvernemental	employé du secteur privé	retraité
		9		
		11		
		20%		
		11%		
57	Nombre de membres de la famille dans l'habitation	1-2	9-10	plus de 15
		8		
		19		
		35%		
		30%		
58	Les façades préférables de l'habitat	nord	ouest	est
		43		
		2		
		3%		
		23%		
59	Taux de satisfaction générale quant à l'intimité visuelle	1	4	6
		12		
		3		
		9%		
		11%		

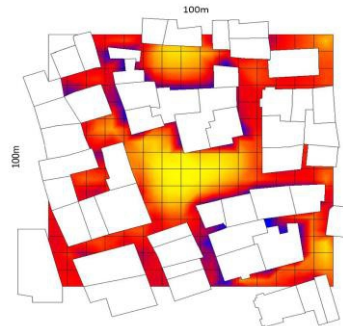
## Annexe 4

Dans cette partie sont rassemblés les documents détaillés relatifs à l'étude du rayonnement solaire selon les types de tissus urbains présents à Djeddah. Ces mesures ont été effectuées grâce aux simulations avec AUTODESK Ecotect et Vasari.

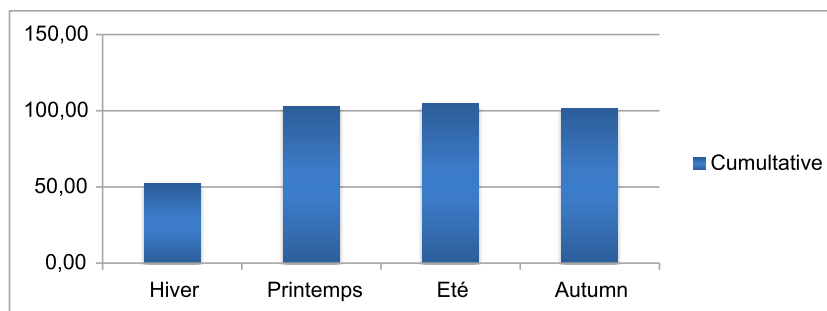
Example: Urban Pattern Evaluation, Old City of Jeddah - zone2; by Author



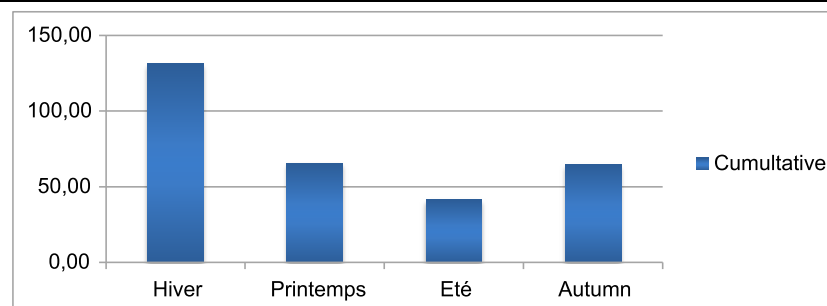
## Vieille ville de Djeddah : Zone 1



	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit	
	08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m <sup>2</sup>	
Facade : Est - Ancienne ville 1					
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois- Est
Min	1,21	2,83	2,44	2,48	361,48 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	98,07	133,59	136,29	133,59	
<b>Cumulative</b>	<b>52,31</b>	<b>102,99</b>	<b>104,51</b>	<b>101,67</b>	



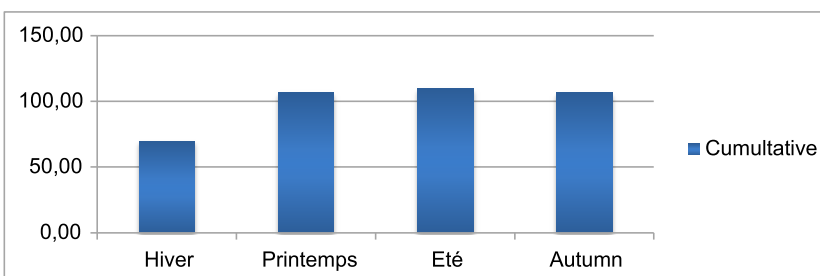
	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit	
	08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m <sup>2</sup>	
Facade : Sud - Ancienne ville 1					
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois - Sud
Min	0,99	15,30	13,61	22,58	302,80 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	167,14	84,53	57,57	84,53	
<b>Cumulative</b>	<b>131,32</b>	<b>65,26</b>	<b>41,35</b>	<b>64,88</b>	



Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit
08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m <sup>2</sup>

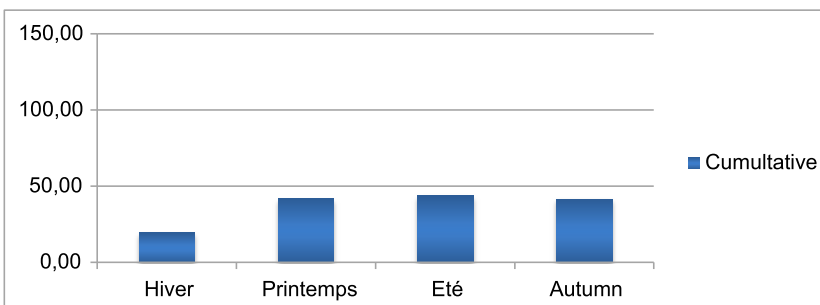
#### Facade : Ouest - Ancienne ville 1

kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	12 mois- Ouest
Min	1,22	11,03	13,61	10,18	392,77 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	131,68	147,30	150,70	99,89	
<b>Cumultative</b>	<b>69,73</b>	<b>106,84</b>	<b>109,54</b>	<b>106,67</b>	

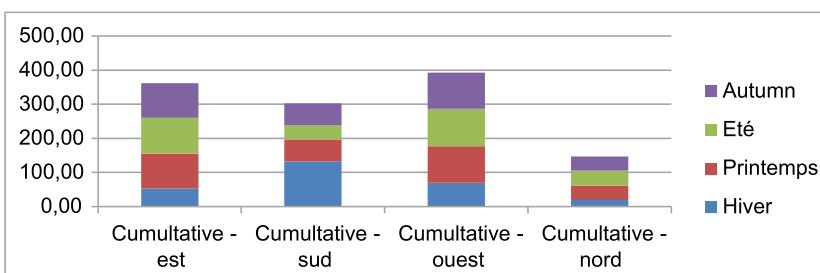


#### Facade : Nord - Ancienne ville 1

kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	12 mois - Nord
Min	0,00	4,66	7,37	4,27	146,35 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	29,18	76,03	79,42	76,03	
<b>Cumultative</b>	<b>19,41</b>	<b>41,88</b>	<b>43,57</b>	<b>41,48</b>	

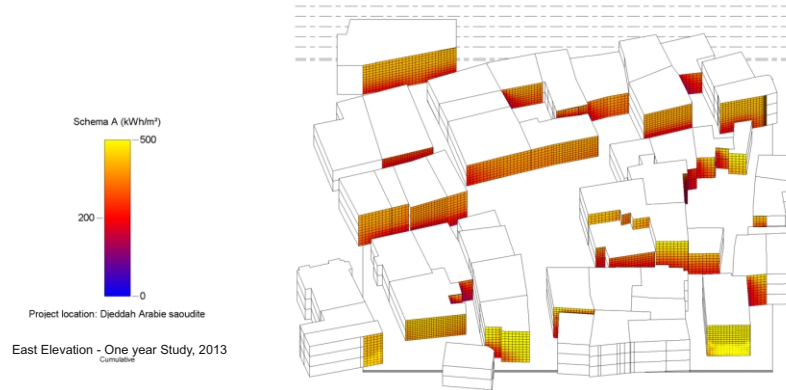


kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn
<b>Cumultative - est</b>	<b>52,31</b>	<b>102,99</b>	<b>104,51</b>	<b>101,67</b>
<b>Cumultative - sud</b>	<b>131,32</b>	<b>65,26</b>	<b>41,35</b>	<b>64,88</b>
<b>Cumultative - ouest</b>	<b>69,73</b>	<b>106,84</b>	<b>109,54</b>	<b>106,67</b>
<b>Cumultative - nord</b>	<b>19,41</b>	<b>41,88</b>	<b>43,57</b>	<b>41,48</b>

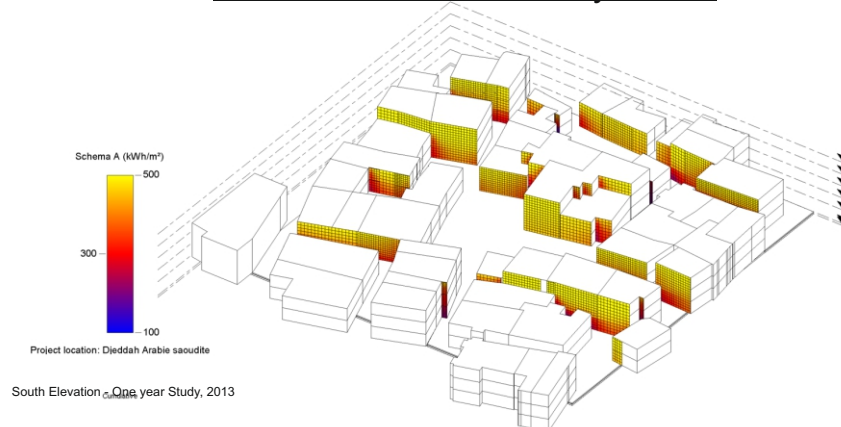


## Annexe 4

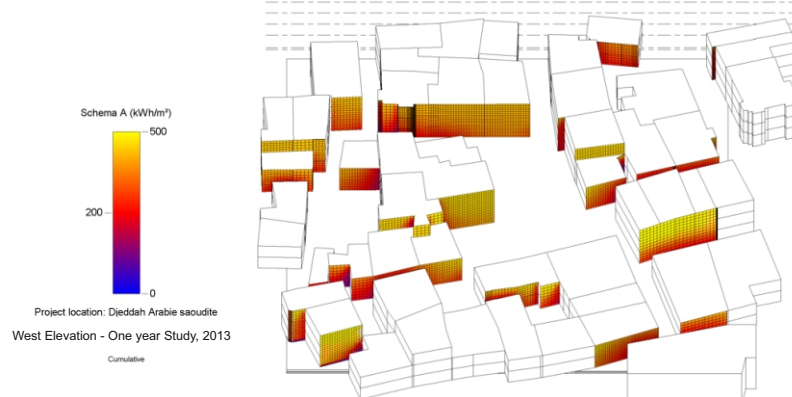
### East Elevation - Old City Zone1



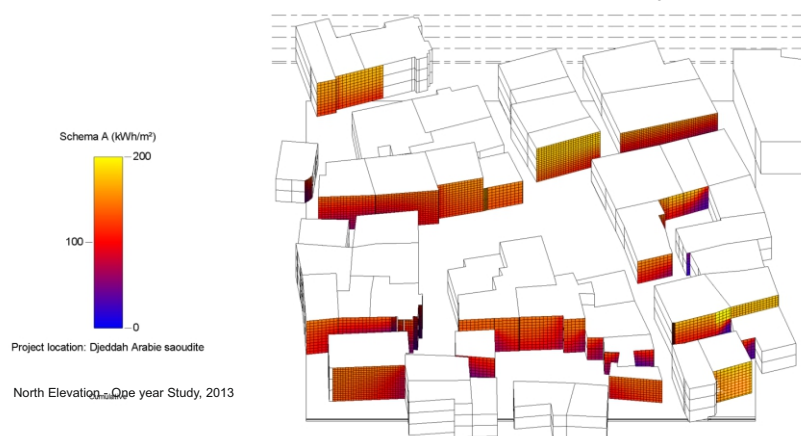
### South Elevation - Old City Zone1



### West Elevation - Old City Zone1



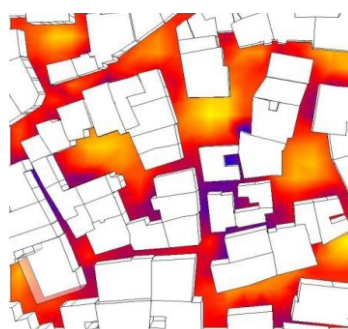
### North Elevation - Old City Zone1



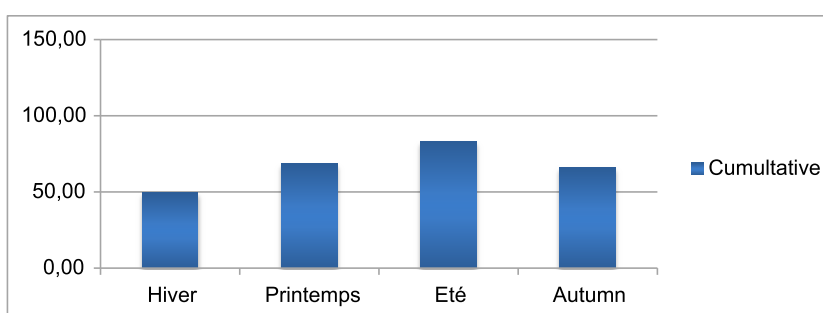
Urban Pattern: 10.000m²



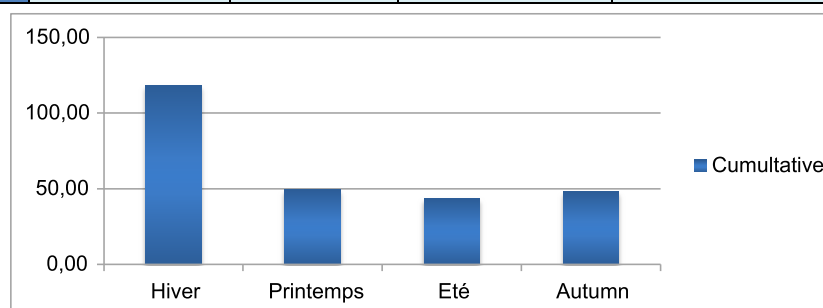
vieille ville de Djeddah : ZONE 2



	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit	
	08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m <sup>2</sup>	
Facade : Est - Ancienne ville 1					
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois- Est
Min	0,94	1,59	1,78	0,98	266,67 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	119,20	131,69	136,29	118,12	
<b>Cumulative</b>	<b>49,51</b>	<b>68,37</b>	<b>83,13</b>	<b>65,67</b>	

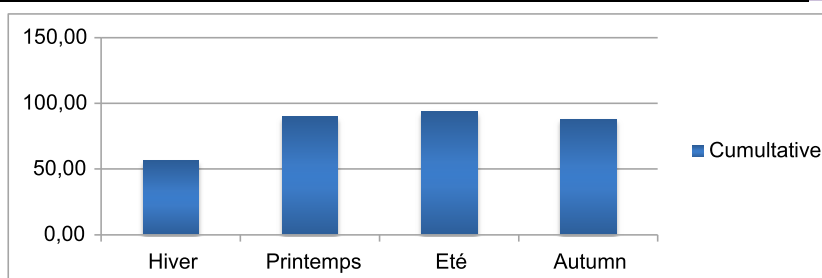


	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit	
	08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m <sup>2</sup>	
Facade : Sud - Ancienne ville 1					
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois - Sud
Min	0,32	5,72	5,90	5,14	259,03 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	197,55	69,16	71,00	69,13	
<b>Cumulative</b>	<b>118,28</b>	<b>49,38</b>	<b>43,27</b>	<b>48,10</b>	

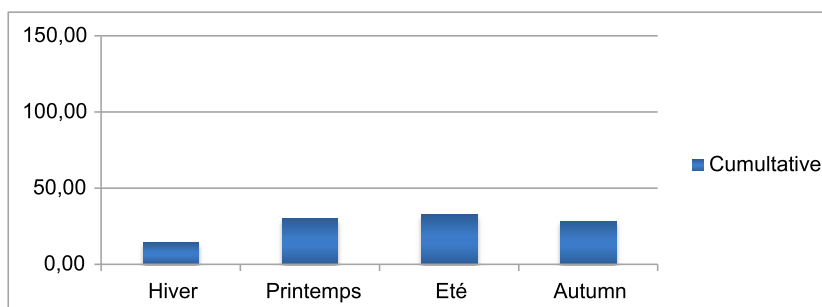




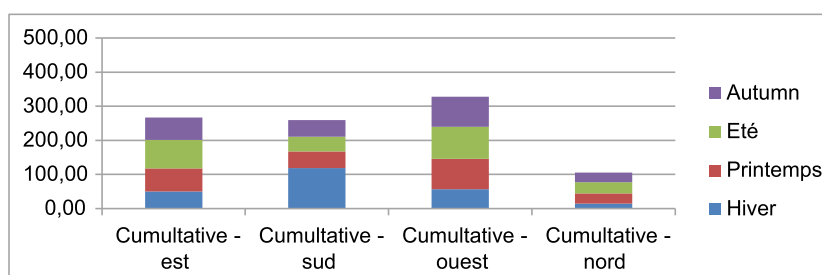
	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit		
	08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m²		
Facade : Ouest - Ancienne ville 1						
kWh/m²	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	12 mois- Ouest	
Min	1,22	11,03	13,61	10,18	327,66 kWh/m².an	
Max	133,15	144,91	148,66	141,32		
Cumulative	56,50	89,65	93,52	87,99		



	<b>Facade : Nord - Ancienne ville 1</b>				
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	12 mois - Nord
Min	0,00	1,69	4,96	1,33	105,49 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	29,85	84,75	90,85	30,72	
<b>Cumultative</b>	<b>14,34</b>	<b>29,95</b>	<b>32,83</b>	<b>28,37</b>	

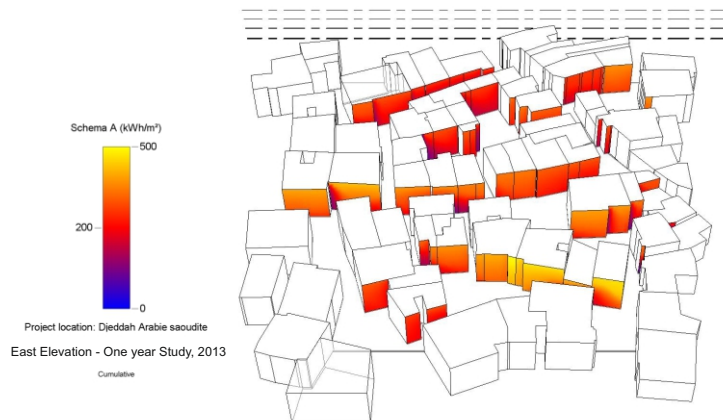


kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn
<b>Cumultative - est</b>	<b>49,51</b>	<b>68,37</b>	<b>83,13</b>	<b>65,67</b>
<b>Cumultative - sud</b>	<b>118,28</b>	<b>49,38</b>	<b>43,27</b>	<b>48,10</b>
<b>Cumultative - ouest</b>	<b>56,50</b>	<b>89,65</b>	<b>93,52</b>	<b>87,99</b>
<b>Cumultative - nord</b>	<b>14,34</b>	<b>29,95</b>	<b>32,83</b>	<b>28,37</b>

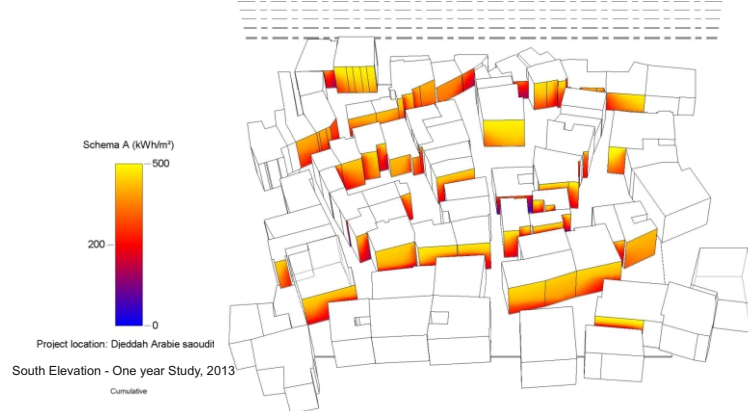


## Annexe 4

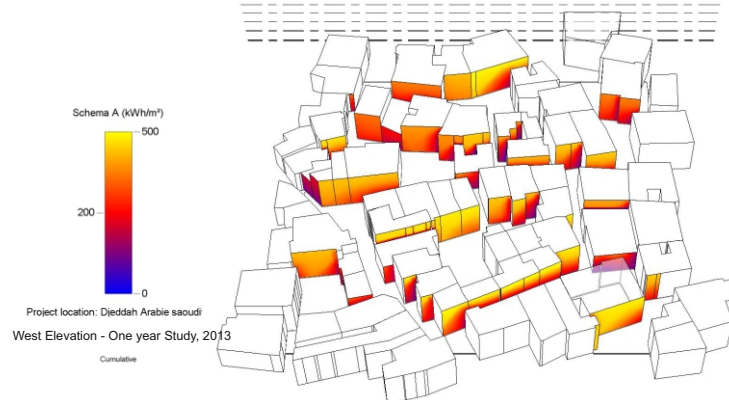
### East Elevation - Old City Zone1



### South Elevation - Old City Zone1



### West Elevation - Old City Zone1



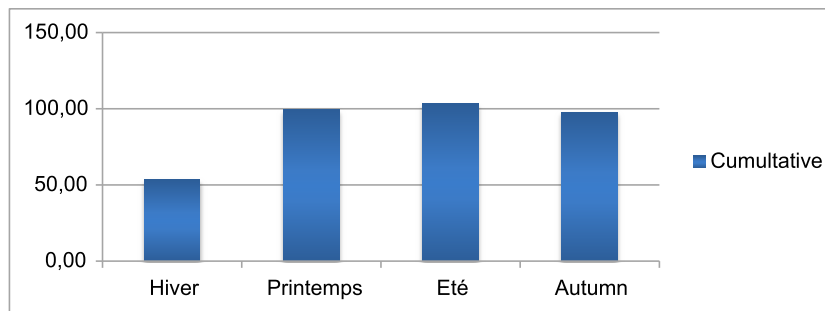
### North Elevation - Old City Zone1



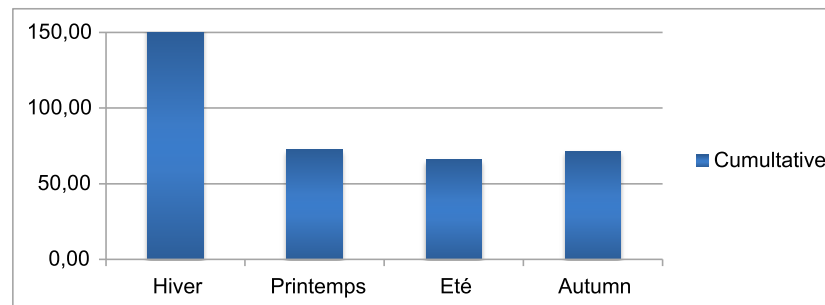
Urban Pattern: 10.000m²



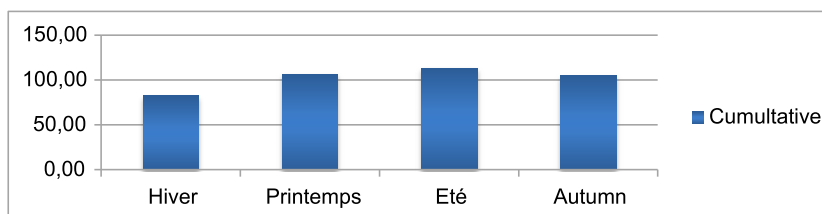
Study Time Range					Longitude	Latitude	Unit
08:00 - 18:00					39,1728	21,5433	kWh/m <sup>2</sup>
Facade : Est - Ancienne ville 1							
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois- Est		
Min	14,37	50,69	62,69	48,01	354,06 kWh/m <sup>2</sup> .an		
Max	70,61	124,27	128,74	70,95			
Cumulative	53,65	99,56	103,20	97,66			



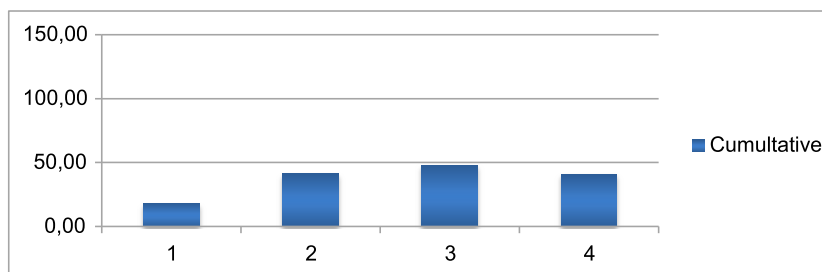
Study Time Range					Longitude	Latitude	Unit
08:00 - 18:00					39,1728	21,5433	kWh/m <sup>2</sup>
Facade : Sud - Ancienne ville 1							
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois - Sud		
Min	13,04	49,69	47,67	48,87	369,29 kWh/m <sup>2</sup> .an		
Max	192,99	83,46	76,94	189,30			
Cumulative	159,25	72,47	66,17	71,40			



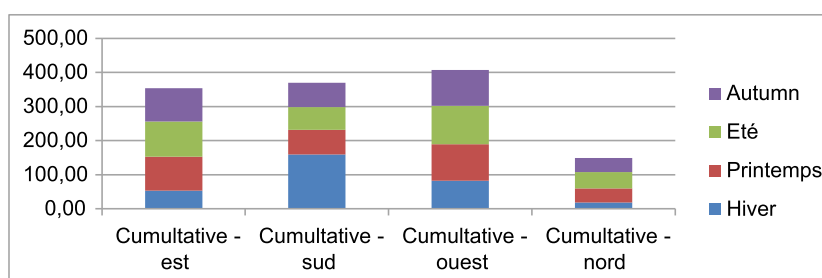
	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit	
	08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m²	
Facade : Ouest - Ancienne ville 1					
kWh/m²	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois- Ouest
Min	36,03	57,10	59,95	53,59	406,88 kWh/m².an
Max	117,00	143,60	148,40	141,40	
<b>Cumulative</b>	<b>82,47</b>	<b>106,60</b>	<b>112,82</b>	<b>104,99</b>	



	Facade : Nord - Ancienne ville 1				
kWh/m²	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois - Nord
Min	3,18	21,61	24,22	21,09	148,89 kWh/m².an
Max	28,73	57,19	61,60	55,88	
<b>Cumulative</b>	<b>18,34</b>	<b>41,59</b>	<b>48,07</b>	<b>40,90</b>	

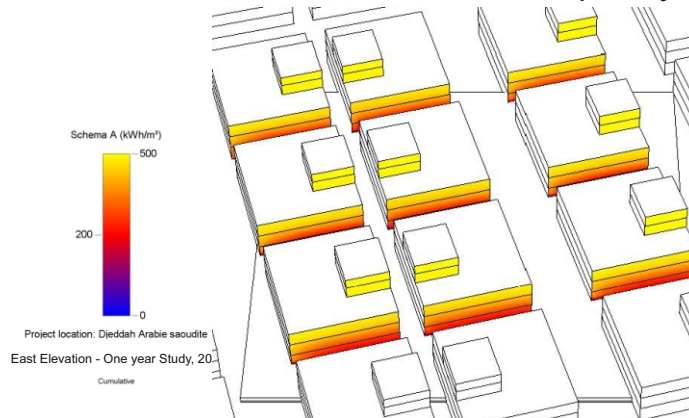


kWh/m²	Hiver	Printemps	Eté	Autumn
<b>Cumulative - est</b>	<b>53,65</b>	<b>99,56</b>	<b>103,20</b>	<b>97,66</b>
<b>Cumulative - sud</b>	<b>159,25</b>	<b>72,47</b>	<b>66,17</b>	<b>71,40</b>
<b>Cumulative - ouest</b>	<b>82,47</b>	<b>106,60</b>	<b>112,82</b>	<b>104,99</b>
<b>Cumulative - nord</b>	<b>18,34</b>	<b>41,59</b>	<b>48,07</b>	<b>40,90</b>

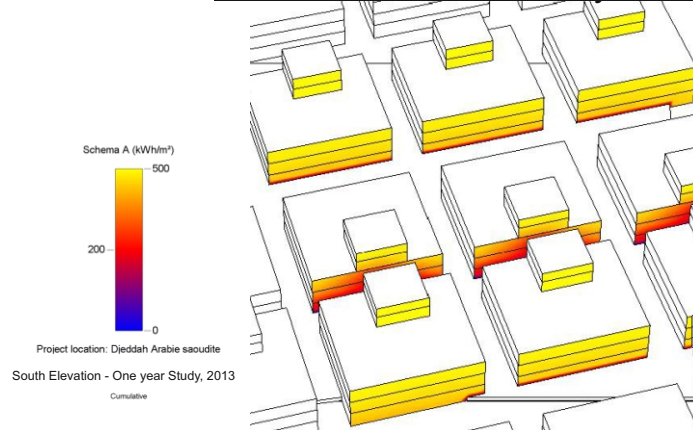


## Annexe 4

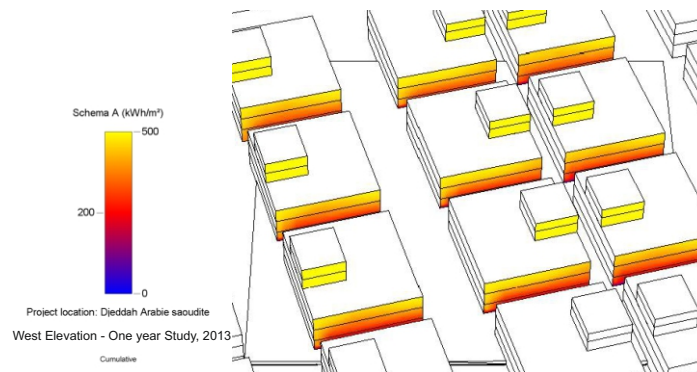
### East Elevation - Contemporary City, Zone3



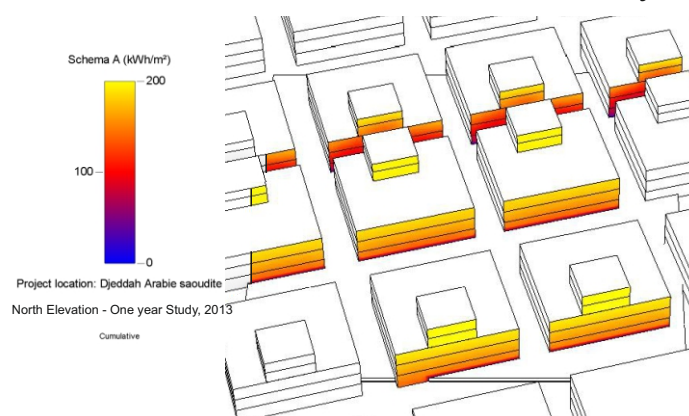
### South Elevation - Old City Zone1



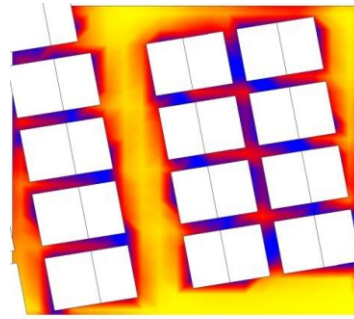
### West Elevation - Old City Zone1



### North Elevation - Old City Zone1



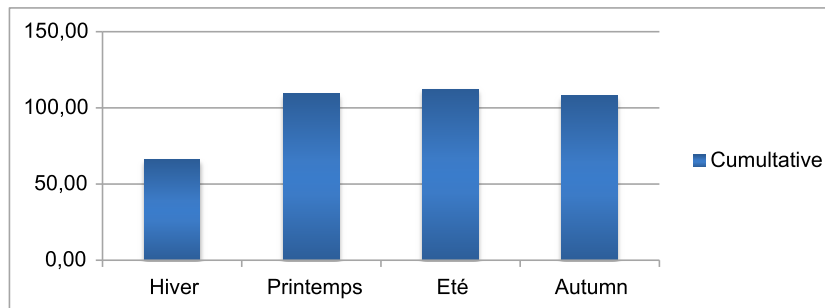
Urban Pattern: 10.000m<sup>2</sup>



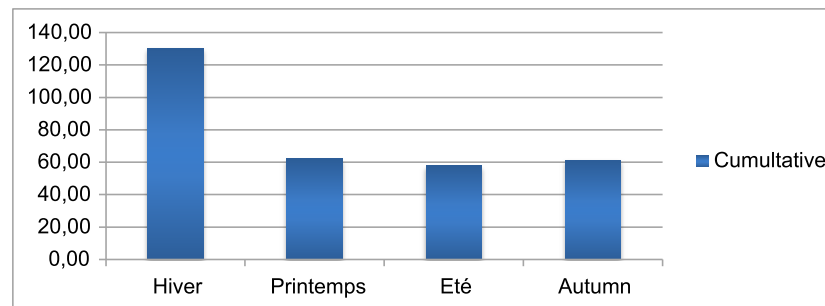
50m



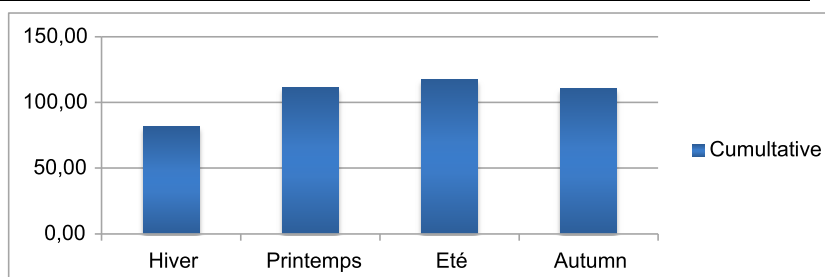
	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit	
	08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m <sup>2</sup>	
Facade : Est - Ancienne ville 1					
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois- Est
Min	14,37	50,69	62,69	48,01	395,23 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	79,22	128,33	131,79	126,86	
<b>Cumulative</b>	<b>65,89</b>	<b>109,27</b>	<b>112,28</b>	<b>107,79</b>	



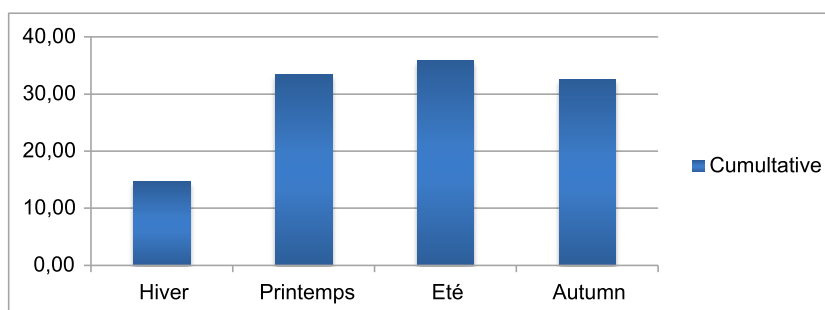
	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit	
	08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m <sup>2</sup>	
Facade : Sud - Ancienne ville 1					
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois - Sud
Min	12,77	47,44	44,78	47,02	311,04 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	196,86	76,72	72,75	75,99	
<b>Cumulative</b>	<b>130,19</b>	<b>62,02</b>	<b>58,04</b>	<b>60,80</b>	



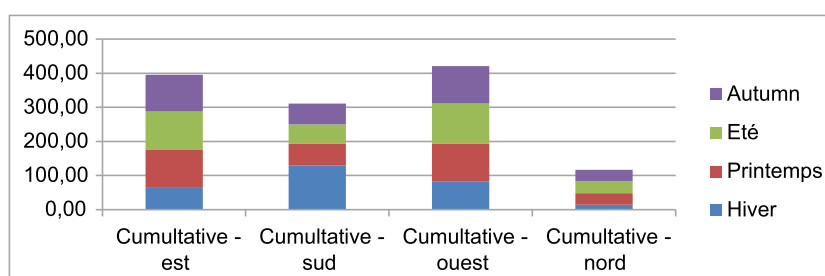
	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit		
	08:00 - 18:00	39,1728	21,5433	kWh/m²		
	Facade : Ouest - Ancienne ville 1					
kWh/m²	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois- Ouest	
Min	36,03	57,10	59,95	53,59	421,07 kWh/m².an	
Max	108,08	146,46	150,02	145,65		
Cumulative	81,66	111,36	117,47	110,59		



de : Nord - Ancienne ville 1					
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn	Total 12 mois - Nord
Min	3,66	17,05	18,77	17,01	116,62 kWh/m <sup>2</sup> .an
Max	28,57	50,42	53,26	48,96	
<b>Cumultative</b>	<b>14,67</b>	<b>33,45</b>	<b>35,89</b>	<b>32,60</b>	



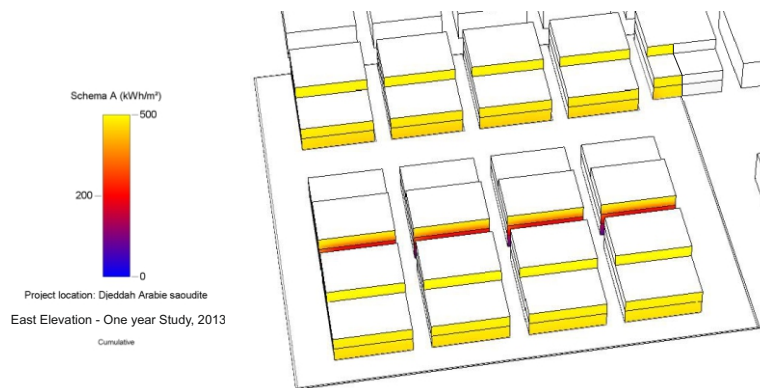
kWh/m <sup>2</sup>	Hiver	Printemps	Eté	Autumn
<b>Cumultative - est</b>	<b>65,89</b>	<b>109,27</b>	<b>112,28</b>	<b>107,79</b>
<b>Cumultative - sud</b>	<b>130,19</b>	<b>62,02</b>	<b>58,04</b>	<b>60,80</b>
<b>Cumultative - ouest</b>	<b>81,66</b>	<b>111,36</b>	<b>117,47</b>	<b>110,59</b>
<b>Cumultative - nord</b>	<b>14,67</b>	<b>33,45</b>	<b>35,89</b>	<b>32,60</b>



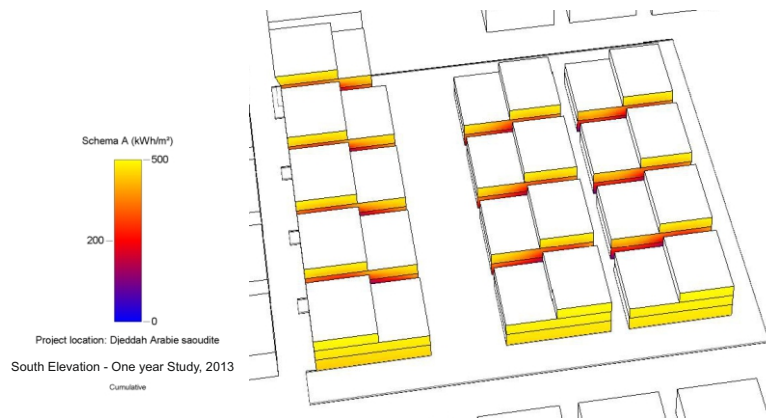


## Annexe 4

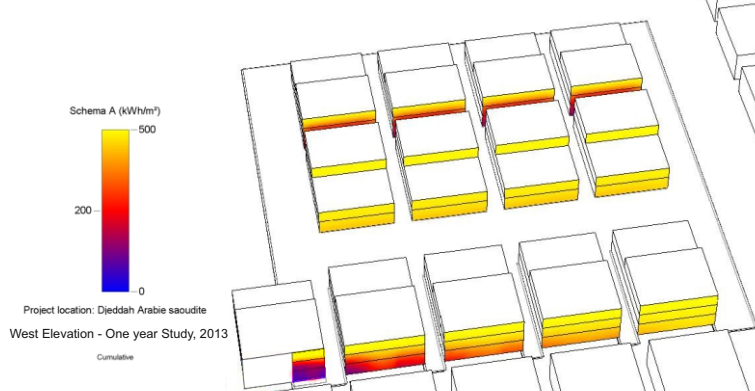
### East Elevation - Contemporary City, Zone4



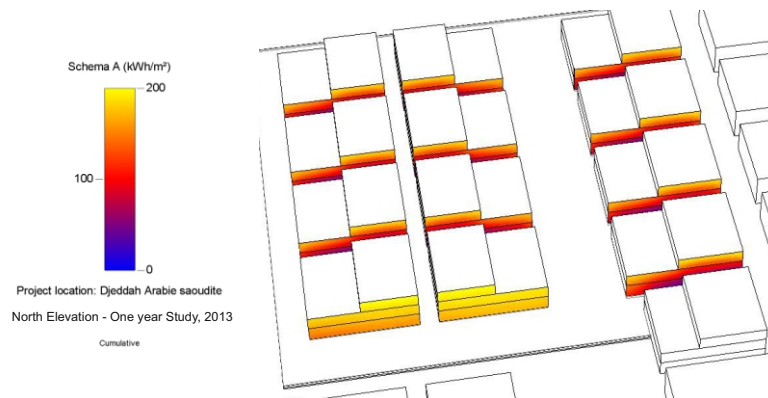
### South Elevation - Contemporary City, Zone4



### West Elevation - Contemporary City, Zone4



### North Elevation - Contemporary City, Zone4



Urban Pattern: 10.000m²



## Annexe 5

Les logiciels comme ECOTECT et IES permettent aussi l'évaluation thermique des espaces intérieurs. William Samuels [SAMUELS 2011] a étudié l'un des éléments de construction traditionnelle du Moyen-Orient, le moucharabieh. Il a analysé le potentiel d'application de ce dispositif dans le contexte contemporain de la station météo Giles, dans le désert de Gibson en Australie. Il a utilisé AUTODESK Ecotect pour évaluer la performance d'un moucharabieh et son impact sur les aspects climatiques (Figure annexe A6-1).

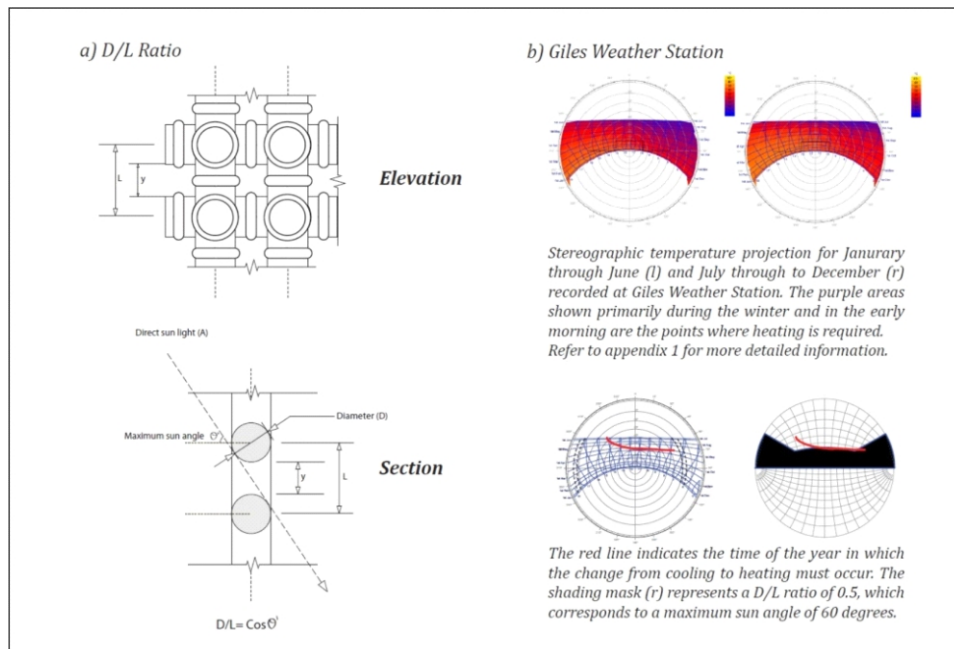


Figure A6-1 : Evaluation du niveau d'éclairage naturel et son impact sur le moucharabieh, par [Samuels 2011].

## Annexe 5

Une autre étude menée par Sara BATTERJEE [BATTERJEE 2009] vise à proposer une solution à travers le développement d'un dispositif d'ombrage inspiré par un élément architectural de contrôle de l'environnement d'un dispositif d'ombrage en fenêtre (Rowshan). Cinq cas de conception de dispositifs d'ombrage ont été proposés, et différents paramètres ont été manipulés et testés pour les niveaux d'éclairage naturel utilisant AUTODESK Ecotect et le logiciel Radiance annexe (Figure A6-2).

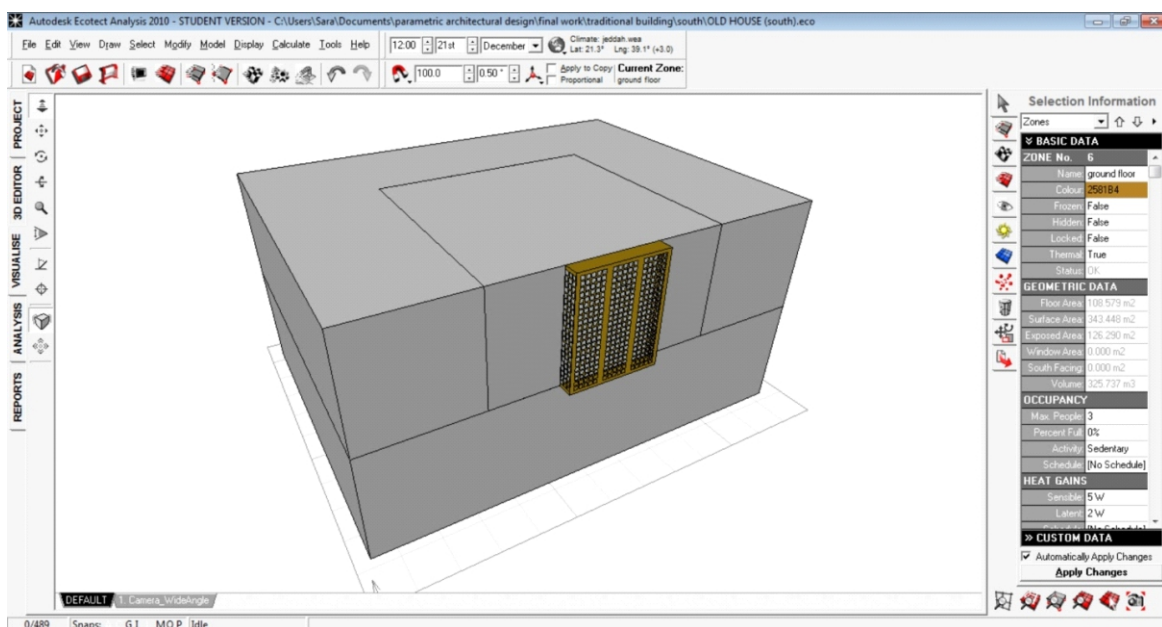


Figure A6-2 : Évaluation virtuelle de l'espace intérieur générée par Ecotect [BATTERJEE 2009].

## Annexe 6

### **Evaluation de l'espace intérieur**

Le travail de recherché se concentre sur l'analyse des niveaux de facteur lumière du jour et d'éclairage dans une pièce spécifique avec différents scénarios d'utilisation du Rowshan. Toute la géométrie de la pièce va permettre d'évaluer ces scénarios.

## Daylight Factor - Virtual Interior Space 1/3

Single Galzing																				Average
Cö	1.41	1.50	1.65	2.36	5.46	7.87	8.51	8.76	9.00	8.99	8.73	8.46	7.85	5.34	2.55	1.91	1.41	1.48	5.17944508	
	1.93	2.03	2.56	3.13	4.63	5.93	7.08	7.04	7.50	6.90	7.19	7.24	5.94	4.89	3.12	2.81	2.02	2.23	4.67624015	
	1.91	1.90	2.35	3.02	4.03	4.86	5.50	5.90	6.31	6.08	5.85	5.51	4.85	3.84	3.00	2.14	2.07	1.69	3.9338029	
	1.83	2.16	2.30	2.71	2.98	4.22	4.51	5.06	5.21	5.19	4.73	4.57	4.56	3.36	3.13	2.73	2.14	2.10	3.5274904	
2m	2.04	2.32	2.64	2.80	2.69	3.35	4.16	3.95	4.23	4.16	3.97	3.93	3.56	3.21	2.79	2.63	2.26	2.13	3.15697285	
	1.83	2.28	2.30	2.65	2.73	3.11	3.32	3.61	3.78	3.76	3.71	2.62	3.13	3.03	2.56	2.01	1.99	1.99	2.79974735	
	1.98	1.86	2.25	2.54	2.61	2.77	2.93	3.24	3.07	3.25	3.20	3.05	2.75	2.78	2.32	2.04	2.02	1.91	2.58729987	
	1.72	1.86	2.26	2.10	2.30	2.41	2.68	2.93	2.77	2.75	2.89	2.91	2.70	2.74	2.36	1.99	1.85	1.79	2.38914634	
3m	1.83	1.81	2.03	2.10	2.08	2.38	2.48	2.64	2.37	2.50	2.63	2.30	2.41	2.20	2.07	2.04	1.81	1.80	2.19232992	
	1.68	2.02	2.06	2.02	2.37	2.39	2.48	2.48	2.34	2.36	2.45	2.42	2.44	2.32	1.99	1.93	1.81	1.83	2.18920619	
	1.64	1.82	1.74	1.86	1.81	1.95	2.26	2.24	2.21	2.15	2.25	1.98	2.00	1.91	1.77	1.76	1.69	1.63	1.92650366	
	1.61	1.54	1.84	1.95	1.97	1.99	2.00	1.87	2.13	2.16	2.06	1.89	2.01	1.83	1.76	1.71	1.70	1.65	1.87139697	
4m	1.54	1.79	1.64	1.60	1.92	1.82	1.96	2.00	2.14	1.96	1.94	1.99	1.98	1.94	1.80	1.80	1.71	1.80	1.8509399	
	1.55	1.71	1.75	1.62	1.89	1.95	1.73	1.96	1.98	1.82	1.74	1.91	1.98	1.77	1.63	1.76	1.66	1.68	1.78308699	
	1.54	1.60	1.74	1.57	1.59	1.80	1.91	1.71	1.79	1.80	1.72	1.72	1.72	1.62	1.62	1.60	1.61	1.54	1.67914192	
	1.54	1.63	1.61	1.60	1.67	1.75	1.78	1.83	1.81	1.81	1.71	1.70	1.85	1.59	1.62	1.61	1.57	1.54	1.67880253	

Double Galzing - Air																			Average
1m	1.26	1.24	1.54	2.09	3.65	6.31	7.61	8.00	8.08	8.05	8.00	7.84	7.17	5.48	2.14	1.55	1.32	1.13	4.58079289
	1.57	1.61	2.13	2.18	3.72	4.83	6.19	5.87	6.43	6.04	5.99	5.99	6.21	4.79	3.11	1.39	2.08	1.82	3.99866643
	1.39	1.52	1.74	2.18	2.79	4.09	4.69	4.99	5.36	4.95	5.07	4.85	4.58	4.02	2.18	1.69	2.01	1.36	3.30290379
	1.35	1.82	1.87	2.28	2.74	3.37	3.82	4.07	4.48	4.30	4.27	3.91	3.84	3.45	2.74	1.99	1.71	1.72	2.98616544
2m	1.45	1.90	2.01	2.37	2.66	2.61	3.35	3.41	3.38	3.53	3.44	3.35	3.15	3.02	2.38	1.88	1.90	1.65	2.63532809
	1.37	1.61	1.67	2.12	2.42	2.64	2.88	3.06	3.35	3.07	2.99	3.08	2.63	2.37	2.10	1.88	1.62	1.61	2.35961375
	1.39	1.67	1.83	2.04	1.97	2.27	2.37	2.75	2.81	2.58	2.72	2.57	2.18	2.15	1.93	1.85	1.59	1.63	2.12750903
	1.47	1.67	1.98	1.68	1.77	1.97	2.39	2.51	2.32	2.31	2.47	2.45	2.33	2.26	1.95	1.65	1.46	1.47	2.00636087
3m	1.44	1.45	1.62	1.79	1.68	2.05	2.01	2.42	2.04	2.08	2.21	2.26	2.01	1.49	1.69	1.66	1.43	1.50	1.82335672
	1.23	1.31	1.56	1.42	1.62	1.97	1.98	2.02	1.94	1.98	2.02	2.20	1.82	1.97	1.55	1.58	1.60	1.49	1.73639014
	1.42	1.45	1.40	1.43	1.44	1.77	1.72	1.62	1.66	1.76	1.68	1.67	1.62	1.63	1.44	1.41	1.29	1.27	1.53827558
	1.30	1.28	1.42	1.39	1.35	1.62	1.60	1.67	1.75	1.72	1.59	1.52	1.57	1.56	1.43	1.51	1.44	1.28	1.49923715
4m	1.29	1.32	1.20	1.36	1.58	1.55	1.61	1.50	1.59	1.58	1.73	1.58	1.53	1.52	1.42	1.44	1.32	1.31	1.46876827
	1.22	1.19	1.41	1.40	1.42	1.35	1.56	1.48	1.41	1.69	1.72	1.37	1.50	1.38	1.40	1.44	1.42	1.42	1.431585
	1.21	1.17	1.23	1.41	1.55	1.47	1.35	1.46	1.55	1.45	1.37	1.38	1.44	1.42	1.23	1.31	1.28	1.18	1.35896693
	1.21	1.29	1.23	1.27	1.28	1.30	1.43	1.43	1.40	1.44	1.45	1.36	1.46	1.43	1.24	1.26	1.15	1.22	1.32421804

## Daylight Factor - Virtual Interior Space 2/3

Double Glazing - Argon

																			Average
1m	1.14	1.42	1.49	1.99	4.13	6.33	6.73	6.69	6.83	6.76	6.72	6.43	5.84	3.94	1.84	1.46	1.24	1.32	4.01672435
	1.54	1.82	2.00	2.45	3.57	4.97	5.33	5.70	5.76	6.06	5.32	5.18	4.98	3.81	2.77	1.94	1.59	1.49	3.68264659
	1.52	1.67	1.99	2.24	3.17	3.74	4.17	4.45	4.56	4.54	4.37	4.22	3.73	2.98	2.29	1.66	1.49	1.72	3.02859453
	1.58	1.62	1.88	2.44	3.05	3.24	3.69	3.98	3.85	3.76	3.91	3.70	3.25	2.89	2.33	1.79	1.67	1.51	2.78482971
2m	1.62	1.81	2.06	2.21	2.47	2.81	2.80	3.29	3.19	3.14	3.25	3.01	2.60	2.50	1.86	1.81	1.69	1.42	2.42035385
	1.77	1.80	1.81	2.18	2.51	2.62	2.75	2.76	2.78	2.90	2.84	2.75	2.41	2.19	1.97	1.60	1.51	1.46	2.25704995
	1.52	1.52	1.66	1.80	2.03	2.14	2.26	2.47	2.68	2.65	2.47	2.50	2.15	1.87	1.95	1.58	1.58	1.58	2.02340078
	1.49	1.58	1.57	1.65	1.81	2.15	2.34	2.33	2.33	2.18	2.26	2.15	2.14	2.01	1.86	1.79	1.46	1.38	1.9167817
3m	1.38	1.46	1.63	1.63	1.63	1.86	2.00	2.06	2.11	1.93	2.07	1.93	1.90	1.70	1.64	1.58	1.45	1.45	1.74529436
	1.32	1.44	1.59	1.55	1.63	1.73	1.74	1.91	1.85	1.90	2.05	1.88	1.85	1.84	1.56	1.58	1.44	1.44	1.68283844
	1.31	1.43	1.35	1.42	1.55	1.58	1.75	1.79	1.66	1.71	1.56	1.63	1.59	1.54	1.41	1.44	1.44	1.28	1.52449885
	1.43	1.35	1.44	1.41	1.65	1.70	1.59	1.72	1.71	1.70	1.75	1.56	1.55	1.53	1.42	1.39	1.47	1.23	1.53313447
4m	1.31	1.44	1.39	1.41	1.44	1.57	1.61	1.66	1.64	1.68	1.58	1.57	1.58	1.54	1.41	1.42	1.31	1.21	1.48690553
	1.23	1.32	1.39	1.28	1.30	1.37	1.55	1.58	1.67	1.65	1.52	1.50	1.54	1.56	1.40	1.40	1.38	1.24	1.43698075
	1.25	1.31	1.37	1.27	1.37	1.45	1.53	1.58	1.53	1.42	1.43	1.47	1.42	1.42	1.29	1.26	1.29	1.23	1.3834146
	1.22	1.29	1.29	1.28	1.27	1.37	1.37	1.40	1.43	1.42	1.36	1.37	1.39	1.33	1.28	1.27	1.26	1.23	1.32470699

Rowshan with Opened Vinitians

																			Average
1m	0.44	0.53	0.76	1.49	2.57	2.97	3.19	3.36	3.50	3.42	3.35	3.35	3.11	2.53	1.61	0.81	0.56	0.45	2.11038208
	0.55	0.70	0.91	1.19	1.78	2.02	2.24	2.34	2.32	2.37	2.27	2.22	2.10	1.71	1.21	0.89	0.68	0.48	1.55323585
	0.58	0.69	0.81	0.99	1.24	1.50	1.63	1.68	1.70	1.68	1.68	1.58	1.42	1.25	0.97	0.79	0.71	0.56	1.19228281
	0.60	0.65	0.48	0.83	1.01	1.19	1.21	1.28	1.36	1.35	1.28	1.25	1.20	1.06	0.89	0.71	0.68	0.59	0.97898008
2m	0.57	0.62	0.65	0.76	0.85	0.96	0.98	1.03	1.04	1.06	1.02	0.96	0.91	0.82	0.75	0.60	0.60	0.56	0.81785765
	0.55	0.46	0.61	0.65	0.72	0.84	0.85	0.84	0.93	0.89	0.88	0.87	0.82	0.71	0.66	0.65	0.59	0.56	0.72850692
	0.52	0.52	0.59	0.62	0.65	0.70	0.76	0.77	0.77	0.77	0.75	0.75	0.71	0.65	0.60	0.58	0.57	0.54	0.65645493
	0.50	0.52	0.55	0.57	0.65	0.62	0.69	0.67	0.68	0.72	0.69	0.66	0.67	0.64	0.55	0.54	0.52	0.52	0.60912977
3m	0.49	0.50	0.53	0.56	0.58	0.59	0.60	0.62	0.62	0.62	0.59	0.60	0.58	0.56	0.54	0.53	0.51	0.49	0.56262201
	0.48	0.50	0.50	0.52	0.51	0.56	0.58	0.56	0.56	0.58	0.62	0.57	0.55	0.54	0.52	0.51	0.51	0.47	0.53574706
	0.46	0.48	0.50	0.52	0.52	0.52	0.53	0.55	0.55	0.54	0.55	0.54	0.56	0.52	0.50	0.48	0.49	0.47	0.51504172
	0.47	0.48	0.48	0.53	0.53	0.51	0.54	0.51	0.52	0.52	0.54	0.52	0.50	0.50	0.49	0.48	0.47	0.47	0.50235996
4m	0.46	0.46	0.48	0.47	0.49	0.49	0.50	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.47	0.49	0.47	0.45	0.48763365
	0.46	0.46	0.45	0.47	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.47	0.48	0.46	0.45	0.46	0.45	0.47186813
	0.44	0.45	0.45	0.45	0.48	0.47	0.48	0.48	0.47	0.48	0.48	0.48	0.46	0.46	0.45	0.46	0.45	0.45	0.46341614
	0.45	0.44	0.46	0.46	0.46	0.46	0.47	0.47	0.46	0.47	0.47	0.47	0.46	0.45	0.46	0.45	0.45	0.44	0.45826174

## Daylight Factor - Virtual Interior Space 3/3

Rowshan with Closed Vinitians

																			Average
1m	0.30	0.47	0.39	0.45	0.38	0.45	0.44	0.45	0.37	0.45	0.37	0.37	0.44	0.38	0.32	0.40	0.40	0.40	0.40189633
	0.38	0.43	0.37	0.37	0.41	0.51	0.43	0.36	0.36	0.36	0.43	0.50	0.43	0.37	0.37	0.44	0.42	0.43	0.41002843
	0.43	0.38	0.27	0.37	0.37	0.37	0.37	0.49	0.37	0.37	0.43	0.50	0.48	0.42	0.43	0.38	0.38	0.38	0.39826128
	0.43	0.38	0.37	0.37	0.43	0.37	0.43	0.54	0.37	0.37	0.37	0.43	0.37	0.30	0.38	0.38	0.38	0.38	0.39495416
2m	0.38	0.38	0.42	0.42	0.41	0.37	0.42	0.37	0.37	0.37	0.37	0.42	0.37	0.38	0.23	0.38	0.38	0.38	0.37992781
	0.39	0.39	0.43	0.35	0.35	0.44	0.35	0.40	0.40	0.35	0.35	0.40	0.35	0.35	0.40	0.39	0.38	0.43	0.38175622
	0.28	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.39	0.35	0.39	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34909035
	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.39	0.35	0.35	0.35	0.39	0.38	0.39	0.35	0.35750143
3m	0.32	0.32	0.39	0.32	0.36	0.35	0.35	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.36	0.35	0.34	0.35	0.3363944
	0.32	0.32	0.32	0.32	0.36	0.36	0.36	0.35	0.32	0.36	0.36	0.36	0.39	0.32	0.32	0.32	0.36	0.36	0.3425345
	0.35	0.35	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.35	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32630491
	0.32	0.32	0.35	0.35	0.35	0.35	0.32	0.38	0.35	0.32	0.32	0.35	0.32	0.32	0.35	0.32	0.35	0.32	0.33788223
4m	0.35	0.32	0.35	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.35	0.32	0.32	0.32	0.35	0.32	0.35	0.32	0.35	0.35	0.33212196
	0.32	0.32	0.34	0.32	0.32	0.37	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.35	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32700362
	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32370305
	0.32	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	0.34	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32594159

## Daylighting Level - Virtual Interior Space 1/3

### Single Glazing

																			Average
1m	317	335	370	530	1 224	1 762	1 905	1 962	2 016	2 013	1 955	1 895	1 758	1 196	572	427	315	332	1160.20
	433	454	574	701	1 037	1 329	1 585	1 577	1 680	1 546	1 611	1 621	1 331	1 095	699	629	454	500	1047.48
	429	425	527	677	902	1 088	1 232	1 322	1 412	1 362	1 311	1 235	1 087	859	672	480	464	378	881.17
	411	485	516	607	668	945	1 010	1 133	1 168	1 162	1 060	1 025	1 021	753	701	611	479	470	790.16
2m	457	521	592	627	602	751	932	886	949	932	888	880	796	718	626	589	507	476	707.16
	411	510	515	593	613	697	743	808	847	841	832	587	701	678	572	449	446	446	627.14
	444	417	505	568	586	620	657	726	687	727	716	682	617	622	519	458	452	428	579.56
	385	416	507	470	516	539	600	656	621	616	647	652	605	614	528	447	414	401	535.17
3m	411	405	454	471	465	533	554	591	530	560	590	515	539	494	463	457	405	403	491.08
	377	453	461	452	531	536	556	556	525	529	549	541	546	519	445	433	406	411	490.38
	368	408	390	416	405	436	507	501	495	483	504	444	449	427	397	393	379	365	431.54
	362	344	413	436	442	445	449	420	478	484	461	423	449	411	395	384	380	370	419.19
çö	344	401	367	359	430	409	438	447	479	440	434	447	443	435	404	403	382	403	414.61
	346	383	392	364	423	437	387	439	443	407	389	429	444	396	366	395	371	377	399.41
	345	359	390	352	357	403	427	384	401	404	386	386	385	364	364	358	361	345	376.13
	345	365	362	359	374	391	398	409	406	406	382	381	414	357	363	360	352	345	376.05

### Double Glazing - Air

																			Average
1m	291	286	355	483	843	1457	1758	1849	1866	1859	1849	1812	1657	1265	494	358	305	261	1058.16
	364	371	492	504	860	1115	1429	1356	1485	1395	1384	1384	1436	1107	719	321	481	421	923.69
	321	350	402	503	645	945	1083	1154	1237	1143	1172	1120	1058	928	504	391	465	314	762.97
	312	421	431	527	634	778	882	941	1036	994	986	904	886	798	634	459	396	398	689.80
2m	336	438	464	548	614	602	774	788	780	815	794	775	728	697	550	435	438	382	608.76
	316	373	385	490	560	610	665	708	773	710	692	710	607	546	485	435	375	372	545.07
	321	386	424	472	455	524	548	635	648	596	629	593	504	496	446	427	367	376	491.45
	340	385	456	389	408	456	551	580	537	534	570	565	539	522	451	381	337	340	463.47
3m	332	334	373	414	389	474	464	559	472	479	510	521	464	345	391	383	330	346	421.20
	283	302	361	329	375	455	458	467	448	457	467	508	421	455	358	364	369	344	401.11
	328	336	323	330	332	409	398	373	384	406	388	386	375	377	333	326	299	293	355.34
	301	296	329	321	311	374	369	385	405	397	368	351	362	360	329	348	332	295	346.32
4m	299	305	278	314	366	359	371	347	368	365	400	366	353	351	327	332	306	302	339.29
	282	275	325	324	328	311	360	342	326	390	397	316	347	319	323	332	327	329	330.70
	279	271	285	326	357	339	312	338	359	335	316	319	332	329	284	302	297	272	313.92
	279	297	283	294	296	300	331	330	322	332	334	315	337	331	286	290	265	281	305.89

## Daylighting Level - Virtual Interior Space 2/3

Double Glazing - Argon

																			Average
1m	269	333	351	468	972	1489	1582	1574	1605	1590	1581	1512	1373	926	433	343	291	311	944.70
	361	429	469	576	839	1169	1255	1341	1356	1426	1251	1218	1170	897	652	456	374	351	866.12
	358	393	469	527	747	880	981	1046	1071	1069	1029	993	877	701	538	390	350	403	712.30
	372	380	442	574	717	763	868	936	906	884	919	870	763	681	547	421	392	355	654.97
2m	382	427	485	521	580	662	658	774	751	740	764	707	613	588	438	426	397	335	569.25
	417	424	427	514	591	617	648	649	655	681	669	647	568	514	464	376	354	343	530.84
	358	357	389	423	478	503	532	582	629	623	581	588	506	441	459	372	372	373	475.89
	351	372	370	388	426	506	551	548	548	513	532	506	503	472	439	420	344	325	450.81
3m	325	343	382	384	384	437	471	485	496	453	486	455	448	401	385	371	341	342	410.48
	310	338	373	364	383	407	409	450	435	446	481	442	435	433	368	371	340	340	395.79
	308	335	318	334	365	371	411	422	389	402	368	383	375	363	332	338	338	301	358.55
	337	319	339	330	387	399	375	404	402	399	413	368	364	359	335	327	345	288	360.58
4m	309	338	328	331	338	369	378	391	386	394	371	369	371	362	332	334	309	286	349.71
	290	310	327	300	307	323	365	371	393	387	359	354	361	366	328	330	323	291	337.97
	294	308	322	299	321	342	359	373	360	333	337	347	335	334	302	297	304	289	325.37
	286	304	304	302	299	323	323	329	336	335	319	323	326	314	300	298	297	290	311.56

Rowshan with Opened Vinitians

Rowspan with Opened Viridians																			Average
1m	132	139	150	236	447	726	851	929	949	990	970	943	929	858	682	440	232	171	598.48
	155	177	199	279	345	491	552	627	681	662	655	650	583	582	488	392	285	190	443.98
	165	179	194	243	265	390	413	466	464	472	492	501	462	412	324	272	233	238	343.72
	158	176	199	213	254	286	350	361	374	372	376	409	363	346	292	258	208	204	288.75
2m	156	177	198	203	222	243	274	298	317	315	307	317	280	263	267	226	204	190	247.55
	167	167	174	189	196	220	244	251	272	269	276	262	246	238	219	203	187	158	218.65
	161	160	174	177	190	185	215	221	237	233	230	238	220	219	199	186	181	178	200.14
	153	161	163	168	165	194	204	201	211	198	203	217	193	194	179	180	170	174	184.99
3m	151	155	159	160	170	179	175	201	194	191	186	192	190	188	168	165	156	154	173.98
	148	152	154	150	158	165	173	169	177	183	170	172	180	171	173	159	151	147	164.03
	138	141	149	156	152	167	162	167	176	167	161	174	172	158	161	159	158	158	159.70
	142	147	151	158	150	156	155	157	159	155	167	164	160	165	160	151	146	149	154.89
4m	114	140	144	145	150	152	156	152	153	159	152	154	153	153	150	152	148	145	148.39
	140	143	140	140	147	142	149	151	154	153	154	158	155	152	151	152	143	144	148.02
	139	142	139	146	139	149	148	148	151	148	149	152	154	149	141	145	146	141	145.70
	136	138	136	142	144	143	144	153	149	138	146	149	144	137	141	140	144	139	142.49



## Daylighting Level - Virtual Interior Space 3/3

Rowshan with Closed Vinitians

																			Average
00	71	83	92	15	107	96	91	96	107	86	105	109	113	105	96	97	92	33	88.62
	81	98	89	104	87	97	90	92	112	106	92	101	96	95	96	93	22	90	91.17
	82	84	25	34	99	92	106	94	91	107	106	99	106	90	94	96	56	90	86.12
	84	87	86	74	99	95	91	93	100	99	95	93	101	86	102	91	62	84	90.14
2m	85	88	87	89	88	90	92	92	97	99	95	101	94	97	86	94	78	86	90.94
	86	95	86	89	89	88	99	97	92	89	87	90	91	94	85	100	65	86	89.27
	94	78	88	88	89	98	90	98	91	98	88	91	89	96	91	89	64	70	88.43
	84	69	87	71	90	89	88	90	92	88	91	96	91	88	88	87	87	84	86.60
3m	84	86	71	87	95	91	88	87	106	88	92	95	96	88	87	86	82	89	88.82
	85	85	88	86	88	90	89	88	89	91	88	89	96	95	96	88	71	85	88.08
	83	86	85	63	86	87	88	90	96	90	88	88	88	96	85	87	85	69	85.57
	61	83	94	68	86	86	88	89	88	87	89	86	84	85	86	90	80	69	83.31
4m	83	83	86	85	88	85	86	88	86	96	87	86	86	86	84	86	84	74	85.57
	82	82	84	75	84	85	86	87	86	85	86	84	93	86	84	83	74	83	83.87
	81	81	63	83	84	82	84	84	84	91	84	85	83	84	83	83	81	81	82.13
	73	79	71	79	82	81	80	81	80	82	80	81	80	79	81	79	81	68	78.68